



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

# Hur lokal bioenergi kan bidra till att Uppsala kommun når klimatmålet 2050

*How locally produced bioenergy can contribute to meet the climate target 2050 in the municipality of Uppsala*

Stina Byfors



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Stina Byfors

Hur lokal bioenergi kan bidra till att Uppsala kommun når klimatmålet 2050  
How locally produced bioenergy can contribute to meet the climate target 2050 in the municipality of Uppsala

Handledare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU  
Ämnesgranskare: Hans Liljenström, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0724, Examensarbete i energisystem 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2014:06

Uppsala 2014

Nyckelord: bioenergi, klimatmål, växthusgasutsläpp, biodrivmedel, förbränning, scenarioanalys

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>



## **Abstract**

The purpose of this thesis was to examine how locally produced bioenergy may contribute to meet the climate target year 2050 in the municipality of Uppsala. The goal of reduced GHG-emissions from current 6,8 ton CO<sub>2</sub>-equivalents to 0,5 ton CO<sub>2</sub>-equivalents per capita and year, year 2050 is based on avoiding harmful penalties of an increased level of GHG in the atmosphere. By estimating available biomass in the county together with examining future technologies and emission factors for the substrates used, four possible future scenarios has been developed focusing either on electricity generation or production of biofuels. GHG-emissions of year 2050 have been calculated using the software LEAP.

The conclusion is that bioenergy, depending on how it is integrated in the energy system, may reduce greenhouse gas emissions between 0.6 ton CO<sub>2</sub>-equivalents and 1.4 ton CO<sub>2</sub>-equivalents per capita or 12% to 25% compared to 5.5 ton CO<sub>2</sub>-equivalents in the reference scenario 2050. The greatest reduction is obtained if biofuels are produced in combination with energy efficient heat requirements in buildings.

## Executive summary

Syftet med arbetet har varit att avgöra hur mycket bioenergi som kan utvinnas i Uppsala län och användas i Uppsala kommun samt undersöka hur utsläppen av klimatgaser påverkas beroende på hur bioenergin används. Genom att uppskatta tillgänglig bioenergi utifrån litteratur tillsammans med antaganden om hur mycket som kan användas i kommunen har ingående kvantiteter beräknats.

Odling, transport och förbränning av bioenergi ger upphov till utsläpp av växthusgaser beroende på vilken gröda som odlas och hur den används. Genom att använda livscykelanalyser för olika system har växthusgasutsläpp uppskattats. För att avgöra hur bioenergin används mest effektivt i syfte att reducera växthusgasutsläpp har två olika framtidsscenarioer tagits fram, ett där det råder en ökad efterfrågan på biodrivmedel och ett där det råder en ökad efterfrågan på el, medan samhällsutvecklingen i övrigt sker enligt ett referensscenario, framtaget av Uppsala kommun i samarbete med SLU. Varje framtidsscenario har dessutom delats in i två olika samhällsutvecklingar.

Resultatet visar på minskade utsläpp av växthusgaser med mellan 12 och 25% jämfört med referensscenariot med en total insatt energi om mellan 1,1 och 1,8 TWh. Om bioenergin används för att producera el som ersätter importerad el av nordisk elmix minskar utsläppen med 12% medan utsläppen minskar ytterligare om en ökad andel av transportsektorn drivs med el, motsvarande 22%. Om stället biodrivmedel tillverkas utifrån bioenergin avtar växthusgasutsläppen med 18%. Vid produktion av biodrivmedel kan utvecklingen i övrigt tänkas ske mot ökad energi-effektivisering vilket skulle medföra ytterligare reduktion av växthusgasutsläpp till totalt 25%. Att utifrån resultatet bedöma var energin bör användas är dock svårt och beror till stor del på hur utvecklingen sker i övrigt.

## Sammanfattning

För att begränsa den globala uppvärmningen till maximalt 2°C jämfört med förindustriell tid åtog sig samtliga industriländer vid FN:s klimatmöte i Cancun att ta fram färdplaner vars syfte är att minska de totala klimatutsläppen med mellan 80-95% till år 2050. För Uppsala kommun innebär målet minskade växthusgasutsläpp från dagens 6,8 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter till 0,5 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år år 2050.

I Uppsala län, med god tillgång på både skogs- och jordbruksmark, finns möjlighet att öka uttaget av bioenergi som kan användas i Uppsala kommuns energisystem. Syftet med rapporten var att undersöka hur mycket bioenergi som finns tillgänglig samt undersöka var i energisystemet bioenergin gör störst nytta i avseende att sänka utsläppen av växthusgaser. Målet var att inom ett intervall redogöra för hur mycket växthusgasutsläppen kan minskas med hjälp av lokalt producerad bioenergi.

Genom att utreda hur stor fysisk tillgång på bioenergi som kan nyttjas i energiändamål som finns tillgänglig i länet samt vilka tekniker som kan komma att bli aktuella i framtiden har framtidsscenario tagits fram. Därutöver har emissionsfaktorer för respektive substrat bedömts utifrån litteratur för att avgöra respektive användningsområdes framtida klimatpåverkan.

Fyra olika framtidsscenario har tagits fram; scenario A, B, C och D. I scenario A och B råder år 2050 en ökad efterfrågan på el varför bioenergi används för elgenerering. Utsläppen som ersätts är av nordisk elmix medan även marginalel har används vid jämförelse. I scenario B beror den ökade efterfrågan på el på att en större del av transportsektorn är eldriven. Ett alternativt användningsområde för bioenergin är att producera biodrivmedel av den tillgängliga bioenergin såsom i scenario C och D där biodrivmedel ersätter fossila drivmedel. I scenario D sker energieffektivisering till följd av att produktion av biodrivmedel medför minskad tillgång på biobränsle inom kraftvärmesektorn. Alla framtidsscenario är baserade på ett referensscenario 2050, framtaget av kommunen i samarbete med SLU. Programvaran LEAP (Long range Energy Alternatives Planing System) har använts för att simulera och utvärdera skillnaden i växthusgasutsläpp utifrån respektive utveckling.

Resultatet visar på störst reduktion i utsläpp av växthusgaser om den tillgängliga bioenergin används för produktion av drivmedel i samband med att energieffektivisering inom bebyggelse sker. Växthusgasutsläppen kan minskas med ca 1,4 ton CO<sub>2</sub> i förhållande till referensscenariots 5,5 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år motsvarande 25% där den största besparingen sker till följd lägre emissionsfaktorer för biodrivmedel jämfört med fossila drivmedel. Även att använda bioenergi till att producera el i kombination med att en större del av fordonsflottan är eldriven är en effektiv metod för att sänka klimatutsläppen som avtar med 22% i förhållande till referensfallet.

## Förord

Detta examensarbete ingick som avslutande moment i civilingenjörsutbildningen i energisystem vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet omfattar 30 hp och utfördes under våren och sommaren 2013. Arbetet har genomförts på institutionen för energi och teknik vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Tack till alla de personer som på ett eller annat sätt bidrog till detta examensarbete. Ett speciellt stort tack riktas till min handledare Cecilia Sundberg, till Björn Sigurdsson och Anna Karlsson som har varit behjälpliga med information samt Åke Nordberg och Hans Liljenström för värdefulla synpunkter.

Stina Byfors

Uppsala, oktober 2013



# Innehåll

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Introduktion</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1       | Syfte & mål . . . . .                                     | 2         |
| 1.2       | Metod . . . . .   | 2         |
| 1.3       | Avgränsningar . . . . .                                   | 2         |
| <br>      |   |           |
| <b>I</b>  | <b>Klimatmålet 2050</b>                                   | <b>3</b>  |
| <br>      |   |           |
| <b>2</b>  | <b>Klimatmålet 2050</b>                                   | <b>4</b>  |
| 2.1       | Bakgrund . . . . .  | 4         |
| 2.2       | Åtgärder . . . . .  | 5         |
| 2.3       | Delmål 2020 & 2030 . . . . .                              | 5         |
| <br>      |   |           |
| <b>3</b>  | <b>LEAP</b>   | <b>6</b>  |
| 3.1       | Bakgrund och användningsområde . . . . .                  | 6         |
| 3.2       | Användning av LEAP . . . . .                              | 6         |
| 3.3       | Scenarier . . . . .                                       | 7         |
| <br>      |   |           |
| <b>II</b> | <b>Uppsalas energisystem</b>                              | <b>8</b>  |
| <br>      |   |           |
| <b>4</b>  | <b>Dagens energiförsörjning och referensscenario 2050</b> | <b>9</b>  |
| 4.1       | Vattenfall kraftvärmeverk . . . . .                       | 10        |
| 4.2       | Värme & El . . . . .                                      | 12        |
| 4.3       | Transporter . . . . .                                     | 12        |
| 4.3.1     | Kollektivtrafik . . . . .                                 | 13        |
| 4.3.2     | Långväga resande . . . . .                                | 13        |
| 4.4       | Referensscenario 2050 . . . . .                           | 13        |
| <br>      |   |           |
| <b>5</b>  | <b>Markanvändning</b>                                     | <b>16</b> |
| 5.1       | Uppsala läns markanvändning . . . . .                     | 16        |
| 5.1.1     | Jordbruksmark . . . . .                                   | 16        |
| 5.1.2     | Skogsmark . . . . .                                       | 17        |
| 5.2       | Utsläpp till följd av markanvändning . . . . .            | 17        |

|                                    |   |           |
|------------------------------------|---|-----------|
| 5.2.1                              | Jordbrukets växthusgasutsläpp . . . . .                                   | 17        |
| 5.2.2                              | Skogsbrukets växthusgasutsläpp . . . . .                                  | 18        |
| 5.3                                | Bioenergiuttag i Uppsala län . . . . .                                    | 18        |
| 5.3.1                              | Avfall . . . . .  | 19        |
| 5.3.2                              | Energiskog . . . . .  | 20        |
| 5.3.3                              | Åkerbränslen . . . . .  | 20        |
| 5.3.4                              | Primära skogsbränslen . . . . .   | 20        |
| <b>III Framtidens energisystem</b> |   | <b>21</b> |
| <b>6</b>                           | <b>Omvandlingstekniker</b>  | <b>22</b> |
| 6.1                                | Biodrivmedel . . . . .  | 23        |
| 6.1.1                              | Biprodukter . . . . .   | 24        |
| 6.1.2                              | Kombinera kraftvärme med biodrivmedel . . . . .                           | 25        |
| 6.2                                | El & värme . . . . .  | 25        |
| <b>7</b>                           | <b>Framtida bioenergiuttag</b>  | <b>27</b> |
| 7.1                                | Åkerbränslen och energigrödor . . . . .                                   | 27        |
| 7.1.1                              | Avsatt areal för energiskog . . . . .                                     | 28        |
| 7.1.2                              | Areal som idag används för export av spannmål . . . . .                   | 28        |
| 7.1.3                              | Nedlagd åkermark . . . . .  | 28        |
| 7.1.4                              | Energigrödor på nuvarande trädesareal . . . . .                           | 29        |
| 7.1.5                              | Biogas av gödsel & odlingsrester . . . . .                                | 29        |
| 7.1.6                              | Halm . . . . .  | 30        |
| 7.1.7                              | Förädlingspotential & förbättrad odlingsteknik . . . . .                  | 30        |
| 7.1.8                              | Summering av åkerbränslen . . . . .                                       | 31        |
| 7.2                                | Skogsbränslen . . . . .   | 31        |
| 7.3                                | Avfall . . . . .  | 32        |
| 7.3.1                              | Slam . . . . .  | 33        |
| <b>8</b>                           | <b>Uppsala kommun 2050</b>  | <b>34</b> |
| 8.1                                | Framtidsscenarier . . . . .   | 34        |
| 8.2                                | Ökad efterfrågan på el . . . . .  | 34        |
| 8.2.1                              | Scenario A: Elen ersätter nordisk elmix . . . . .                         | 36        |
| 8.2.2                              | Scenario B: Transportsektorn drivs i större utsträckning med el . . . . . | 36        |
| 8.2.3                              | Marginalel . . . . .  | 36        |
| 8.3                                | Ökad efterfrågan på biodrivmedel . . . . .                                | 37        |
| 8.3.1                              | Scenario C: Bioenergi eldas för fjärrvärme . . . . .                      | 39        |
| 8.3.2                              | Scenario D: Energieffektivisering sker . . . . .                          | 39        |
| <b>9</b>                           | <b>Klimatpåverkan</b>   | <b>40</b> |
| 9.1                                | Elgenerering och växthusgasutsläpp . . . . .                              | 40        |
| 9.2                                | Biodrivmedel och växthusgasutsläpp . . . . .                              | 42        |

|                              |   |           |
|------------------------------|---|-----------|
| 9.3                          | Förändrad markanvändning . . . . .  | 44        |
| 9.3.1                        | Förändrad markanvändning och växthusgaser . . . . .   | 45        |
| <b>IV Resultat</b>           |   | <b>46</b> |
| <b>10</b>                    | <b>Simulering i LEAP</b>  | <b>47</b> |
| 10.1                         | Totalt energibehov . . . . .  | 47        |
| 10.2                         | Referensscenario 2050 . . . . .   | 49        |
| 10.3                         | Ökad efterfrågan på el . . . . .  | 50        |
| 10.3.1                       | Scenario A: Elen ersätter nordisk elmix . . . . .   | 50        |
| 10.3.2                       | Scenario B: Transportsektorn drivs i större utsträckning med el   | 51        |
| 10.4                         | Ökad efterfrågan på biodrivmedel . . . . .  | 52        |
| 10.4.1                       | Scenario C: Bioenergi eldas för fjärrvärme . . . . .  | 53        |
| 10.4.2                       | Scenario D: Energieffektivisering sker . . . . .  | 53        |
| 10.5                         | Jämförelse av scenarier . . . . .   | 54        |
| <b>11</b>                    | <b>Diskussion &amp; slutsats</b>  | <b>56</b> |
| 11.1                         | Diskussion . . . . .  | 56        |
| 11.2                         | Slutsats . . . . .  | 58        |
| <b>Litteraturförteckning</b> |   |           |
| <b>Bilagor</b>               |   |           |
| <b>A</b>                     | <b>Kvantiteter bioenergi för värme- och elproduktion respektive för produktion av biodrivmedel i de olika scenarierna</b> |           |
| <b>B</b>                     | <b>Beräkning av drivmedel</b>   |           |
| <b>C</b>                     | <b>Energieffektivisering</b>  |           |
| <b>D</b>                     | <b>Beräkning och viktning av emissionsfaktorer</b>  |           |



# Kapitel 1

## Introduktion

Vid FN:s klimatkonferens i Cancun i Mexiko åtog sig samtliga industriländer att ta fram långsiktiga färdplaner för att tillsammans minska de globala växthusgasutsläppen. EU-kommissionen har tagit fram en färdplan vars syfte är att minska de totala utsläppen i EU med 80-95% till år 2050 (Naturvårdsverket, 2013).

Klimatmålet 2050 innebär att Uppsala kommuns nettoväxthusgasutsläpp måste minska från dagens 6,8 ton CO<sub>2</sub> per person till 0,5 ton CO<sub>2</sub> per person och år år 2050. Målet ska framförallt nås genom kraftigt minskade utsläpp men behöver kompletteras med ett ökat upptag av koldioxid i skog och mark. Därför krävs kraftiga omställningar och effektiviseringar inom sektorerna transport, el värme, ånga och uppvärmning men även inom ickeenergirelaterade utsläppskällor såsom jordbruk, avfall, avlopp och lösningsmedel.

Med stor tillgång på jordbruksmark såväl som skogsmark i länet finns goda möjligheter att utöka andelen bioenergi i energiförsörjningen. Till bioenergi hör skogsbruksrester, energigrödor, avfall såsom gödsel, hushållsavfall, brännbart avfall mm. Förutom i uppvärmningssyfte och för att generera el kan bioenergi användas för att tillverka bland annat drivmedel. Dessutom råder en ökad efterfrågan på bioenergi i kommunen då lokala aktörer efterfrågar mer klimatvänliga alternativ. Dels planerar Vattenfall att ersätta det nu torveldade kraftvärmeverket med en ny panna som framförallt drivs av biobränsle. Det nya kraftvärmeverket beräknas tas i drift år 2020. Dessutom vill UL fördubbla antalet resor med kollektivtrafik samtidigt som befolkningen i kommunen växer stadigt.

På grund av den ökade efterfrågan i samband med att andelen förnybar energi i Uppsala kommuns energisystem måste öka i framtiden finns goda skäl till att utreda hur mycket bioenergi som finns tillgänglig. Dessutom är det av intresse att undersöka vilka tekniker som kan komma att bli aktuella samt vilka utsläpp som respektive gröda ger upphov till för att undersöka hur kommunens växthusgasutsläpp påverkas. Eftersom bioenergi även kan ge upphov till förändrade utsläpp vid direkt och indirekt förändrad markanvändning är det även av intresse att diskutera hur detta kan komma att påverka Uppsala kommuns utsläpp av klimatgaser år 2050.

## 1.1 Syfte & mål

Syftet med examensarbetet är att beräkna hur mycket lokalt producerad bioenergi kan minska växthusgasutsläppen i Uppsala kommun år 2050. Stor vikt kommer att läggas vid hur stora kvantiteter bioenergi som kan produceras lokalt, vilka tekniker som kan komma att bli aktuella samt hur dessa, tillsammans med respektive grödas utsläppsfaktor, kan minska utsläppen av klimatgaser. Målet är att inom ett intervall redogöra för hur mycket växthusgasutsläppen kan minskas.

## 1.2 Metod

En litteraturstudie har genomförts för att undersöka ny teknik, prognoser och utredningar gällande framtid, statliga och kommunala satsningar samt tillgång på jord- och skogsmark. Utifrån litteraturstudien har fyra olika framtidsscenarier tagits fram som alla är baserade på ett referensfall. Dessa i sin tur ligger till grund för de simuleringar som genomförts med hjälp av programvaran the Long range Energy Alternatives Planning system (LEAP) tillsammans med uppskattade värden på kvantitet biomassa och utsläppsfaktorer. Med hjälp av LEAP har växthusgasutsläppen beräknas som därefter har behandlats som grund för resultatet av studien.

## 1.3 Avgränsningar

Examensarbetet är avgränsat till att endast behandla de utsläpp som sker till följd av energianvändning i Uppsala kommun. Lokal bioenergi syftar till den bioenergi som finns tillgänglig i länet medan den bioenergi som kan nyttjas i Uppsala kommuns energisystem har beräknats utifrån hur stor andel av befolkningen som bor i kommunen i förhållande till länet. Vidare har ingen hänsyn tagits till ökad biomassaproduktion till följd av ett varmare klimat.

Utvecklingen i övrigt fram till år 2050 har antagits ske enligt Referensscenario 2050, framtaget av Uppsala kommun i samarbete med SLU och Vattenfall. För närmare beskrivning, se rapporten Modellerings av Uppsala kommuns energisystem och växthusgasutsläpp i LEAP (Byfors m.fl. 2013).

**Del I**

# **Klimatmålet 2050**

## Kapitel 2

# Klimatmålet 2050

### 2.1 Bakgrund

För att minimera riskerna för en farlig påföljd av en förhöjd temperatur bör den globala medeltemperaturökningen begränsas till maximalt två grader jämfört med förindustriell tid. EU-kommissionen har tagit fram en färdplan för en konkurrenskraftig och koldioxidsnål ekonomi år 2050 vars mål är att minska dagens växthusgasutsläpp med mellan 80-95%. Målet bygger på den vetenskapliga bedömningen att effekterna av temperaturökningen blir allt svårare att hantera om den globala medeltemperaturökningen överskrider två grader. För att uppnå detta bör den totala andelen växthusgaser i atmosfären, omräknad till koldioxidekvivalenter, inte överstiga 400 ppm. Förbränning av fossila bränslen såsom olja, kol och naturgas som används i energisyrte, anses vara orsaken till att koldioxidhalten i atmosfären ökar (Naturvårdsverket 2012a).

För att nå tvågradersmålet bör växthusgasutsläppen för varje världsborgare begränsas till två ton koldioxidekvivalenter per år år 2050. Sveriges riksdag har antagit målet att Sveriges nettoutsläpp år 2050 ska vara noll och arbetar för närvarande med att ta fram en färdplan tillsammans med Naturvårdsverket (Naturvårdsverket 2012a). För Uppsala kommun innebär det att växthusgasutsläppen måste minska drastiskt från dagens 6,8 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år till nära 0,5 ton CO<sub>2</sub> per person och år vilket motsvarar en minskning med 86% (Uppsala kommun 2012).

I målet för Uppsala kommun ingår utsläpp från trafik, el, värme, jordbruk och långväga resande. För att lämna ett visst utrymme för utsläpp från jordbrukssektorn som inte anses kunna nå noll samt för långväga resande måste utsläppen från trafik, el och värme vara noll år 2050. Dock tas inte utsläpp i samband med konsumtion med i beräkningarna vilket medför att utsläppen som orsakas av befolkningen i själva verket är högre än de redovisade siffrorna (Uppsala kommun 2012).



## 2.2 Åtgärder

För att nå klimatmålet 2050 krävs stora samhällsomställningar. Att i nuläget föreslå styrmedel är inte meningsfullt eftersom teknikutveckling, beteende- och konsumtionsmönster är svårt att förutse. Istället bör man fokusera på att identifiera strategier som kan leda fram till önskvärda förändringar. Förutom teknikutveckling bör stort fokus ligga på att utveckla ett energisnålt samhälle (Naturvårdsverket 2012a).

I Uppsala kommun arbetar man aktivt för att sänka växthusgasutsläppen. Under åren 2007-2011 handlade kommunen efter den så kallade klimatutmaningen där fokus framförallt låg på att minska utsläppen från bebyggelse och trafik samt främja ny teknik. Under 2012 påbörjades arbetet med att utveckla ett nytt klimat- och miljöprogram. I programmet är utgångspunkterna ett klimatneutralt Uppsala samt en giftfri miljö (Uppsala kommun 2012).

Genom Uppsala klimatprotokoll som inleddes 2010 samarbetar kommunen med lokala organisationer, företag och myndigheter för att tillsammans bidra till att Uppsala kommun når klimatmålen (Uppsala kommun 2012).

## 2.3 Delmål 2020 & 2030

EU har enats om fyra mål som ska vara uppfyllda år 2020 och som brukar förkortas 20-20-20-målet. Mål innefattar

- Minskade växthusgasutsläpp med minst 20% jämfört med 1990 års nivå
- Sänkt energiförbrukning med minst 20%
- Höjd andel förnybar energi till 20% av den totala användningen
- Höjd andel förnybara drivmedel inom transportsektorn till 10%

Förutom ovanstående delmål har regeringen även lämnat förslag på en fossiloberoende fordonsflotta tom år 2030 samt att halva Sveriges energianvändning ska komma från förnybara energikällor år 2020 (Naturvårdsverket 2013a).

## Kapitel 3

# LEAP

### 3.1 Bakgrund och användningsområde

The Longe range Energy Alternatives Planning System (LEAP) är en programvara, utvecklad för att vara behjälplig vid energianalyser och för att kunna uppskatta klimatpåverkan. Programmet är framtaget av Stockholm environmental institute och är idag ett välanvänt verktyg för att ta fram klimatstrategier och för att identifiera utsläppskällor (Heaps 2008).

I LEAP kan en modell över samhällets energiproduktion, -konsumtion samt resurser byggas upp. Utsläpp från både energi och ickeenergisektorer kan integreras i modellen. Användaren får själv mata in information om hur dagens situation ser ut samt vad som kan tänkas inträffa i framtiden. Ju mer information som användaren har tillgång till desto mer noggrann blir beräkningen.

Eftersom programmet redan innehåller information om teknik och utsläppsmängder kopplade till denna ställs mindre krav på att användaren ska ha tillgång till informationen medan den även kan matas in i programmet vid behov. Eftersom simuleringen utförs på årsbasis är programmet lämpligt för simuleringar på lång sikt, vanligen mellan 20 och 50 år (Heaps 2008).

LEAP är designat för att kunna bygga upp långsiktiga scenarier. Scenarierna utgörs av den prognostiserade utvecklingen för ett energisystem över tid. Därav kan beslutsfattare jämföra olika alternativ med avseende på energibehov, sociala kostnader och fördelar samt miljöpåverkan. Dessutom kan olika alternativ kombineras och utifrån deras sammanvägda effekt på samhället utvärderas (Heaps 2008).

### 3.2 Användning av LEAP

LEAP är uppbyggt kring en behovssida och en produktionssida. Dessutom tillkommer ickeenergirelaterade utsläpp. Vid behovssidan matas värden in för antal hushåll, transporter, värme, industrier, jordbruk etc. Under varje kategori kan sedan information om vilket energislag som används för att försörja respektive sektor matas in. Indata består av tillgängliga data för hur energibehovet ser ut i dagsläget samt

## KAPITEL 3. LEAP

historiska och förväntade värden.

Produktionen styrs istället av tillgängliga energibärare inom det avgränsade området. För varje energibärare kan bränsle bestämmas för varje kategori såsom kol, olja, vattenkraft, naturgas mm. Den miljöbelastning som respektive energislag medför kan allokeras antingen på slutanvändaren eller på energiomvandlingsprocessen beroende på vad som är syftet med analysen. Värden för miljöbelastning finns att tillgå i programmet men kan även matas in manuellt vid behov.

I modellen görs datainmatningen för valt basår vilket simuleringen sen baseras på. Som basår väljs lämpligen ett år då användaren har tillräcklig datamängd alternativt ett år då en större förändring sker i energiförsörjningen. Utifrån valt basår kan LEAP därefter, genom inter- och extrapolering, simulera utvecklingen inom det givna tidsintervallet (Bergqvist m.fl. 2012).

### 3.3 Scenarier

Utifrån basåret kan användaren bygga upp olika scenarier. För varje kategori, såväl på behovssidan som på produktionssidan, kan användaren ange hur utvecklingen tros se ut. Detta kan ske antingen genom att mata in ett specifikt värde för ett visst år, genom att ange en bestämd tillväxt eller genom att låta programmet själv räkna fram ett slutvärde (Heaps 2008). För Uppsala kommun har både en modell över dagens utsläpp samt ett referensscenario som sträcker sig till år 2050 (Byfors m.fl. 2013) funnits att tillgå.

**Del II**

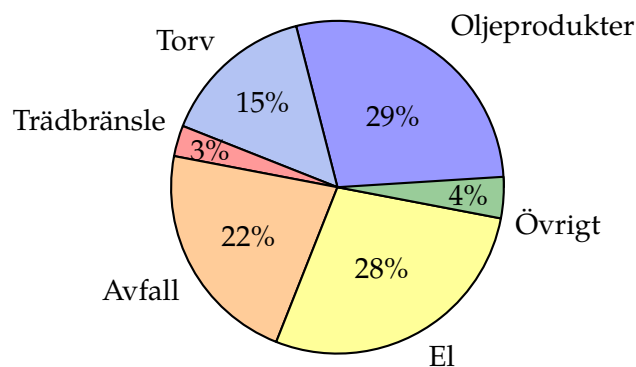
# **Uppsalas energisystem**

## Kapitel 4

# Dagens energiförsörjning och referensscenario 2050

Uppsala kommun är belägen i Uppsala län. Idag bor över 200 000 invånare i Uppsala vilket gör kommunen till Sveriges fjärde största (SCB 2010). Energiförsörjningen är en blandning mellan lokalt producerad energi och importerad energi. Fjärrvärme produceras lokalt men oljeprodukter och torv importerar. El produceras dels lokalt i Vattenfalls kraftvärmeverk i Boländerna medan huvuddelen importerar. Avfall som används i förbränning kommer från kommunen, från närorter och kranskommuner samt från mer avlägsna områden (Vattenfall Värme Uppsala 2011).

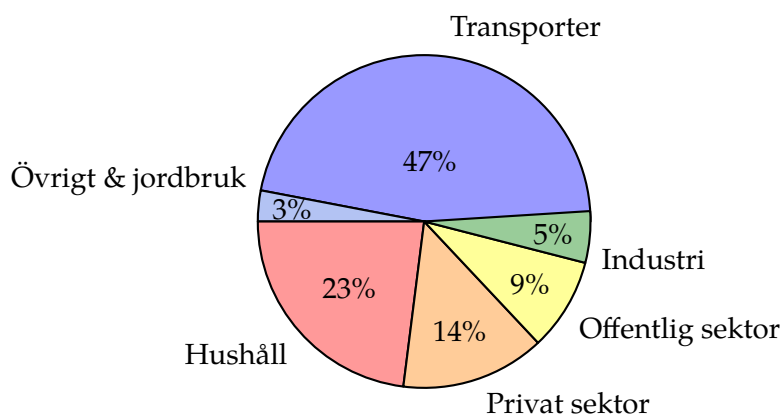
Kommunens bruttoenergi fördelade sig år 2008 enligt figur 4.1. Totalt användes ca 5,1 TWh i kommunen. Oljeprodukter innefattar bensin och diesel men även eldningsolja och står för nära en tredjedel av bruttotillförseln. Posten avfall inkluderar brännbart hushållsavfall, industriavfall samt organiskt avfall.



Figur 4.1. Uppsala kommuns bruttoenergitillförsel år 2008 (SCB 2013a)

Efterfrågan på energi i kommunen har delats in i sju underkategorier; hushåll, privat sektor, offentlig sektor, industri, jordbruk, transport samt övrigt. Valet av kategorier är baserat på den offentliga statistik som finns att tillgå från energimyndigheten.

digheten, SCB samt från Vattenfall (Larsson 2011). Därmed kommer även tidigare beräkningar av växthusgasutsläpp vara fördelade enligt dessa underkategorier. I figur 4.2 redovisas fördelningen över växthusgasutsläpp för respektive sektor år 2008.



**Figur 4.2.** Fördelning av Uppsala kommuns växthusgasutsläpp uppdelat på förbrukarkategori (Bergqvist m.fl. 2012)

För sektorerna hushåll, privat och offentlig sektor och industri innefattas energi till uppvärmning, verksamhetsel, hushållsel (gäller sektorn hushåll), fastighetssel samt energi för uppvärmning av tappvarmvatten. Jordbrukets dieselanvändning redovisas inom sektorn transporter medan transportsektorns energianvändning har beräknats genom statistik för fordonsflottan i Uppsala län tillsammans med statistik för genomsnittlig körsträcka och drivmedelsförbrukning. För ickeenergirelaterade utsläpp till följd av jordbruk, industri etc. är utsläppen allokerade till respektive förbrukarkategori (Larsson 2011).

## 4.1 Vattenfall kraftvärmeverk

Uppsala kraftvärmeverk drivs av Vattenfall Värme och förser Uppsala med fjärrvärme men tillgodoser också kommunen med el, fjärrkyla och ånga. Anläggningen består av fem block, avfallsförbränningen, kraftvärmeverket, Bolandsverket, fastbränslehanteringen och gasturbinen som alla ligger i Boländerna samt Husbyborgverket, Stallängsverket. Kraftvärmeverket drivs i huvudsak av torv med inblandning av träbriketter medan Bolandsverket består av en torveldad hetvattenpanna, en elpanna samt fyra oljepannor som fungerar som reservkraft. Avfallsanläggningen innefattar fyra avfallspannor där totalt 340 000 ton avfall förbränns årligen. Husbyverket täcker spetslaster med hjälp av tre oljepannor och Stallängsverket är en värmepumpanläggning. Vattenfall innehar också ett värmeverk beläget i Storstreta (Vattenfall Värme Uppsala 2011). Bränslemixen för verksamheten i Uppsala be-

#### KAPITEL 4. DAGENS ENERGIFÖRSÖRJNING OCH REFERENSSCENARIO 2050

skrivs i tabell 4.1.

**Tabell 4.1.** Bränslesammansättning för Vattenfall kraftvärmeverk i Uppsala år 2011 (Vattenfall Värme Uppsala 2011)

| Energibärare          | Avfall | Torv  | Trä  | Olja | Kol  | Övriga |
|-----------------------|--------|-------|------|------|------|--------|
| Tillförd energi (GWh) | 993    | 633   | 157  | 117  | 111  | 155    |
| Andel                 | 46,3 % | 29,5% | 7,3% | 5,5% | 5,2% | 6,2%   |

Avfallet består till hälften av hushållsavfall medan resterande är industriavfall och kommer i huvudsak från Uppland, Södermanland eller Västmanland. En mindre del importerats från Åland och Norge. Avfall anses till en övervägande del vara förnybart på grund av den höga halten trä. Hur stor denna andel är varierar dock och i det här fallet beräknas bränslet till 80% vara förnybart medan resterade 20% anses vara fossilbaserat på grund av förekomsten olja, kol och plast. Torv anses som ett så kallat långsamt förnybart bränsle vilket innebär att det inte passar in inom normen för varken förnybart eller fossilt bränsle. Andelen förnybara bränslen som används i Uppsala kraftvärmeverk blir därför 75% om torv anses vara (långsamt) förnybart medan andelen endast är 45% om torv ses som en fossil bränslekälla. Under posten övrigt ingår spillvärme, el till värmepump, el till motorer etc. (Vattenfall Värme Uppsala 2011).

Den levererade energin från Vattenfall fördelas år 2011 enligt Tabell 4.2

**Tabell 4.2.** Levererad energi från Vattenfalls anläggningar i Uppsala kommun år 2011 (Vattenfall Värme Uppsala 2011)

| Energibärare | Fjärrvärme | El    | Ånga | Fjärrkyla |
|--------------|------------|-------|------|-----------|
| Energi (GWh) | 1 324      | 271   | 89   | 35        |
| Andel        | 61,8%      | 12,6% | 4,2% | 1,4%      |

Den totala verkningsgraden för processen är 89%. Förluster uppkommer i samband med i omvandling och distribution samt intern användning av el- och värmeförbrukning i processen.

Värmeverket i Storvreta består av två pannor som eldas med bibränslen samt en mindre oljepanna för att täcka spetslaster. Totalt levererades 2011 16,3 GWh fjärrvärme medan 22 GWh trä samt 0,8 GWh olja förbrukades i anläggningen (Vattenfall Värme Uppsala 2012).

## 4.2 Värme & El

År 2011 hade Vattenfall ca 8100 kunder och 8900 anslutningar. Nära 95% av alla fastigheter i tätorten Uppsala värms med fjärrvärme (Vattenfall Värme Uppsala 2012). Resterande värmebehov försörjs med bland annat direktverkande el, värmepump eller bioenergi.

Elproduktionen i Uppsala kommun sker i dagsläget endast i samband med fjärrvärmeproduktion. Av det totala behovet utgör den egenproducerade elen 12,4% (Larsson 2011). Resterande behov importeras till kommunen.

## 4.3 Transporter

Transportsektorn kan delas in i passagerartrafik, långväga resande och godstrafik. Passagerartrafik kan i sin tur delas upp i kategorierna bil, buss och motorcykel. Det totala antalet fordonskilometer för personbilstrafik i Uppsala är ca 997 miljoner km. Fördelningen per bränsletyp samt bränsleförbrukning per km visas i tabell 4.3 (Larsson 2011).

**Tabell 4.3.** Fördelning av bränsletyp samt antal fordonskilometer för personbilar i Uppsala (Larsson 2011)

| Drivmedel | Antal fordonskm (milj.) | Andel  | Bränsleförbrukning   |
|-----------|-------------------------|--------|----------------------|
| Bensin    | 854,6                   | 85,7%  | 0,083 l              |
| Diesel    | 100,8                   | 10,1%  | 0,068 l              |
| Etanol    | 35,0                    | 3,5%   | 0,112 l              |
| Hybrider  | 4,1                     | 0,4%   | 0,075 l              |
| Biogas    | 2,1                     | 0,2%   | 0,075 m <sup>3</sup> |
| Elbilar   | 0,4                     | 0,004% | 0,2 kWh              |
| Totalt    | 997                     | 100%   | -                    |

För godstransporter på väg dominerar bränslena bensin och diesel. Transporterna sker antingen med tung eller lätt lastbil. I Tabell 4.4 anges antalet fordonskilometer för respektive bränsletyp samt bränsleförbrukningen per fordonskilometer (Larsson 2011).



## KAPITEL 4. DAGENS ENERGIFÖRSÖRJNING OCH REFERENSSCENARIO 2050

**Tabell 4.4.** Fördelning av bränsletyp samt antal fordonskilometer för lastbilstransporter i Uppsala (Larsson 2011)

|                           | Antal fordonskm      | Andel | Bränsleförbrukning |
|---------------------------|----------------------|-------|--------------------|
| Bensindriven lätt lastbil | 19,9·10 <sup>6</sup> | 22,6% | 0,095 l            |
| Dieseldriven lätt lastbil | 68,3·10 <sup>6</sup> | 77,4% | 0,10 l             |
| Bensindriven tung lastbil | 0,6·10 <sup>6</sup>  | 1,8%  | 0,32 l             |
| Dieseldriven tung lastbi  | 34,6·10 <sup>6</sup> | 98,2% | 0,32 l             |

### 4.3.1 Kollektivtrafik

Kollektivtrafiken i Uppsala län drivs sedan januari 2012 av kollektivtrafikförvaltningen UL som ansvarar för stads- och regionbussarna samt för Upptåget (Kollektivtrafiknämnden 2012). Det totala antalet fordonskilometer för stads- och regionbussarna uppgick år 2012 till 12,4 miljoner kilometer. Fördelningen över bränsletyper samt busstyp beskrivs i tabell 4.6 <sup>1</sup>.

**Tabell 4.5.** Fördelning av bränsletyp för stads- och regionbussar i Uppsala kommun 2012

|            | Antal km             | Biogas nm <sup>3</sup> | Naturgas nm <sup>3</sup> | Biodiesel             | Fossil diesel          |
|------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Stadsbuss  | 10,1·10 <sup>6</sup> | 2 229·10 <sup>3</sup>  | 543·10 <sup>3</sup>      | 518·10 <sup>3</sup>   | 2 072·10 <sup>3</sup>  |
| Regionbuss | 13,0·10 <sup>6</sup> | 362·10 <sup>3</sup>    | 837·10 <sup>3</sup>      | 671·10 <sup>3</sup>   | 12 750·10 <sup>3</sup> |
| Totalt     | 23,1·10 <sup>6</sup> | 2 591·10 <sup>3</sup>  | 1 380·10 <sup>3</sup>    | 1 189·10 <sup>3</sup> | 14 822·10 <sup>3</sup> |

### 4.3.2 Långväga resande

Inom långväga resande ingår flygtrafik samt långväga resor med bil och husvagn. Totalt utgör posten en stor del av de totala utsläppen från kommunen motsvarande 22% eller 1,4 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år. Av långväga resande medför flygtrafik utsläpp om ca 1,2 ton CO<sub>2</sub> per person (Larsson 2011, Bergqvist m.fl. 2012).

## 4.4 Referensscenario 2050

Ett referensscenario 2050 har framarbetats av studenter på kursen Val av energisystem vid Sveriges Lantbruksuniversitet i samarbete med kommunen. Referensscenariot utgår från att "Business as usual" sker, d.v.s. att inga aktiva åtgärder tas för att minska växthusgasutsläppen förutom de redan beslutade. Antaganden om framtiden har baserats på litteraturstudier och historisk utveckling. De viktigaste

<sup>1</sup>Stefan Bojander, Kollektivtrafiknämnden, möte den 4 april 2013

## KAPITEL 4. DAGENS ENERGIFÖRSÖRJNING OCH REFERENSSCENARIO 2050

antaganden som modelleringen bygger på, uppdelade på efterfrågan, energiomvandling och ickeenergirelaterade utsläpp listas nedan.

### Efterfrågan på energi:

- Befolkningen fortsätter öka med 1,2% per år till 287 600 år 2050
- En tredjedel av den direktverkande elen för uppvärmning av småhus ersätts med värmepump, fjärrvärme eller närvärme
- Energieffektivisering av värme och tappvarmvatten för småhus om 0,25% per år för befintligt bestånd samt motsvarande 0,15% för flerbostadshus. För övrigt byggnadsbestånd sker energieffektivisering om 0,20% per år.
- Nybyggnation sker enligt gällande BBR:krav samt enligt antagna BBR:krav på lång sikt
- Antalet fordonskilometer för persontransporter ökar med 95%
- För personbilsflottan ökar dieselanvändningen till drygt 31% av antalet fordonskilometer, etanol till 5%, elhybrider till drygt 19%, biogas till 4% samt el till 6% medan bensinanvändningen sjunker till 35%
- Drivmedelsförbrukningen effektiviseras med mellan 20-40% för samtliga bränslen
- Godstransporter med lastbil ökar med 1,7% per år fram till 2025 och därefter med 0,5% årligen
- Lastbilars och bussars drivmedelsförbrukning minskar med mellan 10-30% beroende på bränsletyp
- Trafikarbetet för bussar ökar med 31% till år 2050 jämfört med år 2009
- Flygbränsleförbrukningen minskar med 18%
- Trafikarbetet för inrikes flyg minskar med 67%
- Antalet fordonskilometer för utrikes flyg minskar med 29%
- Persontrafikarbetet för långväga resande utgörs till en tredjedel av bensinbilar, en tredjedel dieslbilar och en tredjedel av elhybrider år 2050

### Energiomvandling:

- Överföringsförlusterna är lika stora år 2050
- Vattenfalls anläggning använder samma bränslesammansättning år 2050 som år 2011

#### KAPITEL 4. DAGENS ENERGIFÖRSÖRJNING OCH REFERENSSCENARIO 2050

- Växthusgasutsläppen minskar med 17,5% till år 2016 för importerad el, ytterligare 7,5% till år 2030 på grund av att utsläppen för nordisk elmix minskar

##### **Ickeenergi:**

- Trender har extrapolerats till år 2050

För mer detaljerad information om hur referensscenario 2050 är uppbyggt, se rapporterna Uppsala 2030 (Bergqvist m.fl. 2012), Modellering av Uppsala kommuns energisystem och klimatpåverkan (Larsson 2011), Uppsala framtida energisystem och klimatpåverkan (Grim m.fl. 2012) samt Modellering av Uppsala kommuns energisystem och växthusgasutsläpp i LEAP (Byfors m.fl. 2013).

## Kapitel 5

# Markanvändning

Uppsala län innefattar totalt 843 730 ha mark och sträcker sig från Mälaren i söder till Norra upplandskusten i norr. I länet finns ca 250 sjöar om minst en hektar och skärgården omfattar ca 11 300 holmar, öar och skär (SCB 2008).

### 5.1 Uppsala läns markanvändning

Markanvändningen i Uppsala län är fördelad enligt tabell 5.1.

Tabell 5.1. Fördelning av markanvändning i Uppsala län år 2005 (SCB 2008)

| Jordbruks-<br>mark | Skogs-<br>mark | Bebyggd<br>mark | Golf-<br>banor | Täkter | Öppen<br>myr | Berg i<br>dagen | Vatten |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|--------|--------------|-----------------|--------|
| 201 072            | 506 000        | 45 690          | 1 050          | 1 400  | 11 850       | 53 450          | 22 880 |
| 23,8%              | 60,0%          | 5,4%            | 0,1%           | 0,2%   | 1,4%         | 6,3%            | 2,7%   |

Ur tabellen kan utläsas att över hälften av marken består av skogsmark (60%) och ca en fjärdedel av jordbruksmark (24%) medan resterade utgörs av bebyggd mark, berg i dagen, vatten och myrmark. Den totala ytan för jordbruksmark har dock minskat något till år 2012 då jordbruk istället hade en total areal om ca 183 tusen ha (SCB 2013b). Av den totala skogsmarken består ca 451 tusen ha av produktiv skogsmark (Skogsstyrelsen 2012).

#### 5.1.1 Jordbruksmark

Jordbruksmarken kan i sin tur delas in i åkermark och betesmark. I Uppsala län är den övervägande delen åkermark. Vete, korn och havre är de vanligaste spannmålsgrödorna medan slätter och vall även odlas på en betydande del av arealen. De vanligaste grödorna som odlas i länet och dess odlingsareal visas i tabell 5.2.

Ca 70% av allt som odlas på åkrarna används som djurfoder. Korn, havre, råg och slätter används framförallt till i detta ändamål medan vete huvudsakligen an-

## KAPITEL 5. MARKANVÄNDNING

vänds inom matproduktion (LRF u.å). Av raps framställs matolja, bränsle och pellets.

**Tabell 5.2.** Fördelning över de vanligaste åkermarksgrödorna år 2012 i tusen ha (SCB 2013b)

| Gröda | Höst-<br>vete | Vår-<br>vete | Vår-<br>korn | Hav-<br>re | Slåtter | Höst-<br>raps | Vår-<br>raps | Träda | Summa |
|-------|---------------|--------------|--------------|------------|---------|---------------|--------------|-------|-------|
| Areal | 29,1          | 9,3          | 31,8         | 9,2        | 47,7    | 1,9           | 9,0          | 16,5  | 154,5 |
| Andel | 17,5%         | 5,6%         | 19,1%        | 5,5%       | 28,7%   | 1,1%          | 5,4%         | 9,9%  | 100%  |

Betesmarken i länet uppskattas till ca 17 000 ha. Marken används för bete för djur såsom nötkreatur, får och hästar. Marktypen kan även bestå av äng eller vallodling. Betesmark har ofta anlagts på marker där jorden inte är lämpad som åkermark alternativt är för kuperad eller stening för att kunna plöjas och slås.

### 5.1.2 Skogsmark

Uppsala län innefattar 506 000 ha skogsmak. Av denna är ca 90% produktiv skogsmark. De vanligaste träslagen är tall och gran som tillsammans står för över 90% av virkesförrådet. Resterande bestånd utgörs framförallt av lövträden björk och ek. Den årliga bruttoavverkningen i Uppsala län mellan 2008 och 2010 var 2832 tusen m<sup>3</sup>sk. Skogsindustrins produkter användes år 2011 till sågade trävaror, pappersmassa, avsalumassa, papper och papp mm. (Skogsstyrelsen 2012).

## 5.2 Utsläpp till följd av markanvändning

### 5.2.1 Jordbrukets växthusgasutsläpp

Av de totala växthusgasutsläppen i landet står jordbruket för ca 19% om CO<sub>2</sub>-utsläpp från fossila bränslen och markanvändning räknas in (Jordbruksverket 2009). Utsläppen sker främst i form av koldioxid, metan och lustgas. Störst klimatpåverkan har den lustgas som bildas vid omsättning av kväve i marken.

Kväve kan tillföras marken genom kvävefixerande bakterier som använder luftens kväve eller också tillsätts marken genom gödsling. När organiskt material bryts ner frigörs ammonium som sedan, genom nitrifikations- och denitrifikationsprocessen, omvandlas till kvävgas. Om någon av dessa processer inte fulländas kan lustgas bildas.

Osäkerheten i lustgasutsläpp från jordbruksmark är stor. Ca 40% av utsläppen antas komma från kväve som antropogent tillförts marken, ca 20% antas vara indirekta utsläpp medan ca 7% beräknas härröra från betesgödsel. Resterande 33% kommer från nerbruten mull, framförallt mull på utdikad torvmark (Jordbruksverket 2009).

## KAPITEL 5. MARKANVÄNDNING

Mullhalten i marken avgör om marken fungerar som kolsänka eller kolkälla. Vid en ökning av mullhalten sker ett nettoupptag av koldioxid medan ett nettoutsläpp sker om mullhalten minskar. Från minerogena jordar sker varken nettoupptag eller förlust av organiskt material. Mulljordarna utgörs av torvmarker och sjöar som dikats där halten organiskt material är stort. När torvmarker dikas eller bearbetas genomluftas jorden och organiskt material byts ned i snabbare takt. Dessutom ökar utsläppen av lustgas genom ökad aktivitet av nitrifikation och denitrifikation.

Mulljordarna utgör ca 7% av jordbruksmarken men beräknas stå för 40-50% av de totala växthusgasutsläppen vid svenskt jordbruk. Osäkerheten är dock mycket stor.

Vid stallgödselhantering kan utsläpp av både metan och lustgas förekomma. Metanbildande bakterier kan, under syrefria förhållanden, ombilda en del av det organiska materialet i gödsel till metan. Metan bildas även som en biprodukt i djurs matsmältning, framförallt vid nedbrytande av cellulosa. Utsläpp sker i samband med utandningen och står för en stor del av de totala klimatutsläppen.

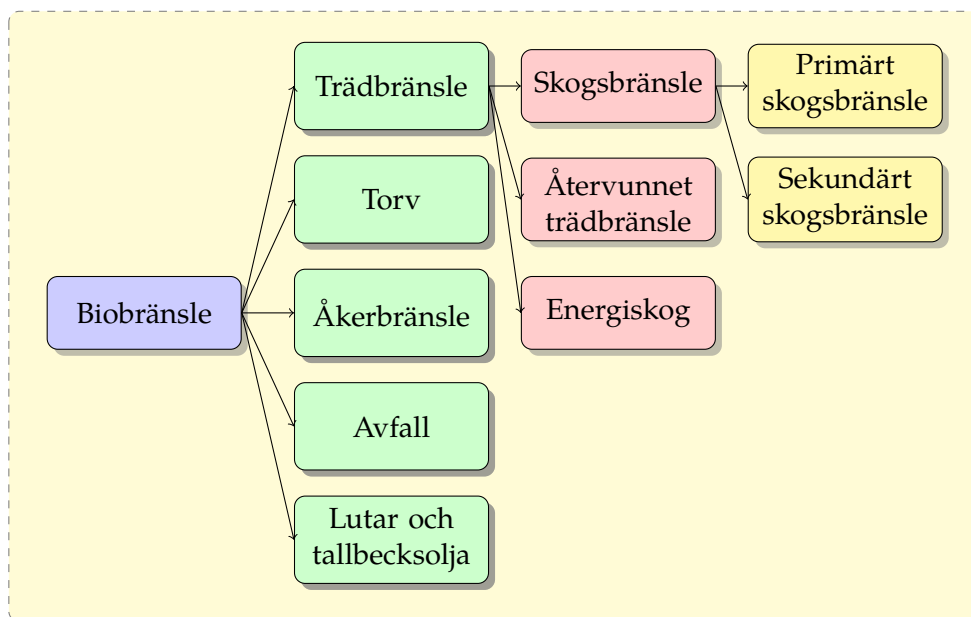
Utsläpp av växthusgaser från jordbruket har minskat succesivt under åren utan att direkta insatser har vidtagits. Minskningen beror främst på att djurhållningen har minskat men även effektiviseringar gällande kväveutnyttjande och mjölkproduktion samt förändrad stallgödselhantering har bidragit till att minska utsläppen (Naturvårdsverket 2006).

### 5.2.2 Skogsbrukets växthusgasutsläpp

I en studie, utförd av Svenska Miljöinstitutet, IVL, utreds upptag och emissioner av växthusgaser i form av koldioxid, metan och lustgas förknippade med den svenska skogsindustrin. Studien visar på ett nettoupptag av växthusgaser motsvarande 5,2 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i landet. Nettosänkan beror främst på en fortsatt nettotillväxt till följd av ett hållbart och långsiktigt skogsbruk. Även för skogsmark gäller att de organogena jordarna, som endast står för en mindre andel av skogsmarken, är en betydande CO<sub>2</sub>-källa medan resterande skogsareal fungerar som nettosänka. Det är framförallt biogent kol som binds i vegetationen som utgör växthusgassänkan medan lustgas och metangas fungerar som källa med 0,68 respektive 0,07 milj. CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Zetterberg 2008).

## 5.3 Bioenergiuttag i Uppsala län

Bioenergi kan delas in enligt figur 5.1.



Figur 5.1. Indelning av olika sorters biobränslen (Skogforsk 2012)

Det bioenergiuttag som sker i länet idag utgörs främst av primärt skogsbränsle, åkerbränsle och avfall. Även energiskog förekommer i viss mån.

### 5.3.1 Avfall

Avfallsförbränningen i Uppsala består av fyra pannor varav block 1, block 3 och block 4 togs i drift under 70- och 80-talet. Under våren 2005 togs även en nyare panna i drift, block 5 (Jung 2010). Totalt förbränns ca 340 000 ton avfall (2009).

Av det avfallet som förbränns kommer ungefär hälften från brännbart hushållsavfall och resterande från industriavfall (Karlsson 2013). Det brännbara hushållsavfallet för Uppsala län fördelas enligt tabell 5.3. Industriavfallen har antagits vara lika stort från respektive kommun.

Tabell 5.3. Kärll- och säckavfall till förbränning fördelat på kommun i Uppsala län (kg/person) (Avfall Sverige 2012)

| Kommun | Enköping | Heby | Håby | Knivsta | Tierp | Uppsala | Österåker |
|--------|----------|------|------|---------|-------|---------|-----------|
| Avfall | 164      | 167  | 224  | 153     | -     | 174     | 194       |

Matavfall från hushåll i länet till biologisk behandling fördelas enligt tabell 5.4.

## KAPITEL 5. MARKANVÄNDNING

**Tabell 5.4.** Matavfall till biologisk behandling fördelat på kommun i Uppsala län (kg/person) (Avfall Sverige 2012)

| Kommun | Enköping | Heby | Håby | Knivsta | Tierp | Uppsala | Österåker |
|--------|----------|------|------|---------|-------|---------|-----------|
| Avfall | 53       | 39   | 1    | 32      | -     | 41      | -         |

I Uppsala kommun finns en biogasanläggning belägen vid Kungsängen gård ca 2,5 km sydost om Uppsala centrum. År 2012 behandlades 25 200 ton organiskt avfall varav 3 700 ton utgjordes av industriavfall och resterande 21 500 ton av organiskt hushållsavfall inklusive avfall från restauranger, storkök och livsmedelsrelaterad detaljhandel. Hushållsavfallet kommer från ett 20-tal närliggande kommuner och år 2012 producerades 27 600 MWh biogas från anläggningen. Ca 89% av gasen användes som fordonsbränsle, 9% användes för internt uppvärmningsbehov medan resterande 2% facklades bort.

Förutom biogasanläggningen i Kungsängen finns ett antal mindre anläggningar i länet som använder avloppsslam som substrat. Dessa anläggningar är Enköpings ARV, Östhammars ARV och Storvreta ARV. Dessutom finns en deponi med depognigasuttag i Enköping (Biogas Öst 2012).

Totalt produceras 33 GWh rågas och 24 GWh uppgraderad biogas i Uppsala län år 2011 (Biogas Öst 2012). Ca 84% röts med organiska substrat och resterande med slam.

### 5.3.2 Energiskog

I Uppsala län odlas energiskog på totalt 1616 ha (Jordbruksverket 2012). Med energiskog menas vanligen Salix som framförallt används i som bränsle i värme- och kraftvärmeverk. Den totala skörden varierar men uppskattas till mellan 30-35 ton torrsbstans (ts) per ha medan skörd sker var 3-4 år. Energiinnehållet per hektar är i snitt 143 MWh (Jordbruksverket 2013).

### 5.3.3 Åkerbränslen

Spannmål, rörflen, halm, vall och oljegrödor kan med fördel användas i energisylfte. Av den totala spannmålsproduktionen i Uppsala län användes ca 10 000 ton i Agroetanols etanolproduktion i Norrköping (Hellstedt 2013).

### 5.3.4 Primära skogsbränslen

Primära skogsbränslen består främst av grenar och toppar (GROT), avverkningsstubbar och virke som av olika anledningar inte kan användas i industrin. GROT-uttaget i Uppsala län för åren 2007-2010 var i genomsnitt 159 tusen m<sup>3</sup> (lösvikt). Av GROT-uttaget kom 144 tusen m<sup>3</sup> från slutavverkningen medan resterande utgjordes av gallringsrester (Skogsstyrelsen 2012). Omräknat i energi motsvarar uttaget ca 127 GWh. GROT används i första hand som bränsle i kraftvärmeverk.



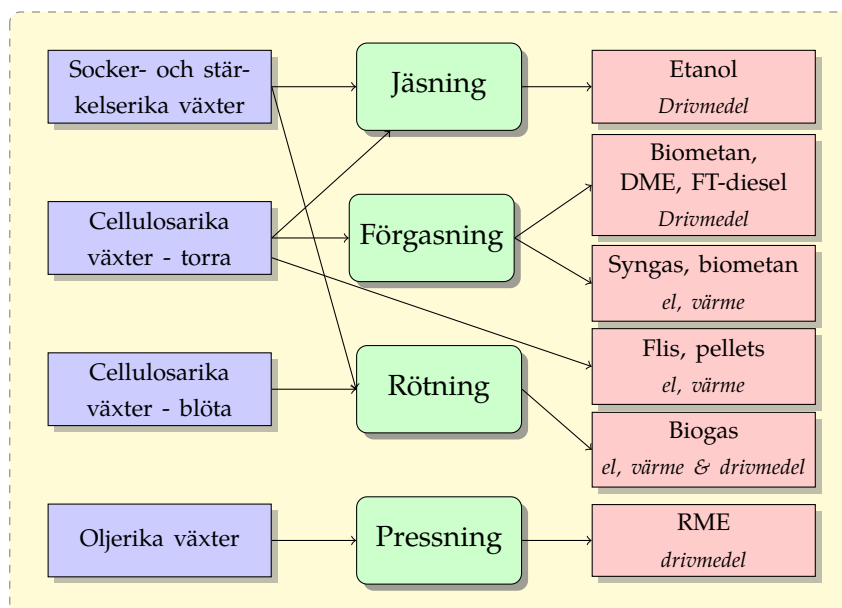
## **Del III**

# **Framtidens energisystem**

## Kapitel 6

# Omvandlingstekniker

Hur stort det framtida bioenergiuttaget för respektive kategori blir beror på vilket användningsområde som kan komma att bli aktuellt och är därför svårt att fastställa på förhand. Arbetet har dock fokuserat på de förädlingstekniker som enligt regeringens utredning Bioenergi - en växande resurs (SOU 2007) är mest relevanta och aktuella utifrån dagens situation. De olika förädlingsprocesserna, deras råvaror och deras produkter sammanfattas i figur 6.1.



**Figur 6.1.** Schematisk bild över de processer och råvaror som krävs för att nå de aktuella slutprodukterna (SOU 2007)

## 6.1 Biodrivmedel

Användningen av första generationens biobränslen såsom etanol producerad av stärkelse har varit omtvistad på grund av dess konkurrens med matproduktion men även på grund av den energikrävande tillverkningsprocessen. Andra generationens biobränslen är istället baserade på lignocellulosarika substrat som inte konkurrerar med matproduktion och som anses vara koldioxidneutrala och ibland till och med koldioxidnegativa. De färdiga biobränslena kan bestå av bioetanol som tillverkas genom hydrolys och fermentation, Fischer-Tropsch Diesel (FT-diesel), biodiesel, biodimetyleter (bio-DME) eller bio-SNG (syntetisk naturgas) som alla framställs genom förgasning. Typiska råmaterial för dessa drivmedel är energiskog, skogsråvara, avfall och skogsrester, där innehållet av lignocellulosa är högt. Att använda lignocellulosa beräknas ge ett högre energiutbyte och minska växthusgasutsläppen samtidigt som råvaruproduktionen inte konkurrerar med livsmedelsproduktion (VTI 2011). Dock finns krav på att råvaran måste vara relativt torr, 10-15% fukthalt, varför pellets som är ett förädlad biobränsle lämpar sig bra medan GROT och flis ofta har en fukthalt kring 50% och därmed måste torkas innan det kan användas i förgasningsprocessen (Svensk fjärrvärme 2008).

Andra generationens biobränslen kräver mer avancerad teknik jämfört med första generationens biobränslen. Förädlingstekniken kan delas in i två huvudkategorier; termokemisk omvandling och biokemisk omvandling. Termokemisk omvandling kan i sin tur delas in i pyrolys och förgasning. Det som skiljer processerna åt är att biomassan genom pyrolys långsamt bryts ned i en syrefri miljö utan att förbränning sker medan förgasning sker under kontrollerad tillförsel av syre varpå biomassan sönderdelas termiskt. Vid pyrolys bildas en bioolja som kan användas som fordonsbränsle. Nackdelen med denna process är att effektiviteten ofta är låg samtidigt som biooljan måste behandlas innan den kan användas i befintliga motorer. Förgasning ger större utbyte av råvaran och processen resulterar i en blandgas som består av  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ , kolväten och en del föroreningar. Gasen som bildas kallas syngas och kan användas för att tillverka metanol, DME och FT-diesel.

Biokemisk omvandling baseras på mikrober eller mikroorganismer och enzymer som bryter ned biomassa såsom lignocellulosa, stärkelse eller cellulosa till enkla sockerarter. Sockret kan sedan konverteras vidare till alkohol och andra biprodukter som i sin tur kan användas som bränsle eller som kemikalier. Lignocellulosa består av lignin, hemicellulosa och cellulosa. Den främsta beståndsdel i cellulosa är en polysackarid av glukos. Hemicellulosa består istället av långa kedjor av xylos. Omvandlingen till etanol från lignocellulosa blir därför mer komplex jämfört med omvandling från sockerrika substrat och innefattar förbehandling, behandling med enzymer eller syra, hydrolys, fermentation och separation av etanol. I processen kan även användbara kemikalier extraheras varför processen med fördel kan användas i så kallade bioenergikombinat där el, drivmedel, värme och kemikalier produceras samtidigt (Naik m.fl. 2009).

Biodiesel tillverkas genom förestring av fett eller olja. Vegetabilisk olja kan utvinnas ur växter antingen genom mekanisk extraktion eller med hjälp av lösnings-

## KAPITEL 6. OMVANDLINGSTEKNIKER

medel såsom hexan. Genom att tillsätta alkohol tillsammans med en katalysator förestras oljan till fettsyrametylester (FAME) om metanol används och fettsyraety-lester (FAEE) om etanol tillsätts processen. I dagsläget är ursprunget för alkoholen ofta fossilt. Vanliga råvaror är raps, sojaböna, palm och solros. Försök pågår dock med andra växter som kan odlas på mark som inte konkurrerar med matproduktion (Jordbruksverket 2011).

Biogas bildas när organiskt material med hjälp av mikroorganismer bryts ned i en syrefri miljö. Processen kan delas in i tre delsteg; hydrolys, fermentering och metanbildning. I Hydrolysen spjälkas mer komplexa föreningar till mindre beståndsdelar med hjälp av mikroorganismer och enzymer som sedan jäses i fermenteringen varpå alkohol, fetter och vätgas bildas. I metanbildningen används speciella metanbildande bakterier som verkar i en syrefri miljö. Vilken typ av bakterier som används beror på substratet som ska rötas vilket kan bestå av gödsel, matavfall och slaktavfall men även av stärkelsesrika substrat såsom halm eller spannmål. För att kunna använda den producerade gasen som fordonsgas måste den uppgraderas (Naturvårdsverket 2012b).

Utöver Biokemisk- och termokemisk konversion tillkommer även andra tekniker som i framtiden kan vara intressanta för att producera biodrivmedel från lignocellulosa såsom mekanisk extraktion. Dessa har dock inte behandlats.

### 6.1.1 Biprodukter

Förgasning kan med fördel utnyttjas i så kallade gaskombikraftverk för att i samband med produktionen av drivmedel även generera el (se avsnitt 6.1.2).

Vid biogasframställning bildas en rötrest som kan användas som gödningsmedel, säljas eller komposteras och användas i jordförbättringsändamål. På grund av en hög vattenhalt i rötresten tillkommer ofta processer som centrifugering, filterteknik eller membranteknik för att öka halten torrs substans. Näringsämnen förekommer ofta löst i vatten och kombineras därför med avdrivning med hjälp av ammoniumstrippar eller jonbytesanläggning. Rötresterna kan även avvattnas med hjälp av indunstning. Avvattningsprocessen är ofta relativt energikrävande (Svensk Fjärrvärme 2008).

Etanol från spannmål resulterar i stora mängder koldioxid som kan avskiljas och säljas om behov finns. Dessutom bildas kemikalier såsom aldehyder och alkoholer som kan användas i andra processer. Vid etanolframställning bildas en urkokt mäska som främst består av skaldelar som kallas drank. Dranken kan säljas och utnyttjas som djurfoder eller rötas till biogas. En annan möjlighet är att torka dranken som därefter kan användas som bränsle i kraftvärmeanläggningar (Svensk Fjärrvärme 2008). Vid etanolproduktion från lignocellulosa bildas, liksom från spannmål, koldioxid. Dessutom avskiljs lignin som med sitt höga energiinnehåll med fördel kan utnyttjas i kraftvärmeverk. Även här kan dranken användas som substrat vid rötning eller säljas vidare som djurfoder. Ungefär hälften av det ursprungliga energiinnehållet i råvaran återfinns i biprodukterna (Svensk Fjärrvärme 2008)

När olja utvinns för att tillverka biodiesel blir en oljekaka kvar. Denna kan med

fördel användas som djurfoder. I den kemiska förestningen bildas glycerin som biprodukt som kan användas till djurfoder, konfektyr och i medicinska ändamål (Jordbruksverket 2011).

### 6.1.2 Kombinera kraftvärme med biodrivmedel

Förgasning av biobränsle är en teknik som på ett flexibelt sätt medför att bioenergin samtidigt kan täcka olika energibehov. Genom förgasning av biobränslen kan el produceras med en högre verkningsgrad än i konventionella kraftvärmeverk. Förgasat biobränsle kan även användas som en bas för att producera biobränslen såsom DME, FT-diesel, metanol, SNG eller vätgas.

I ett gaskombikraftverk förgasas biobränslen såsom pellets eller GROT varefter den bildade gasen kyls och renas. Därefter kan en del av gasen förbrännas i en gasturbin och generera el och värme. Resterande gas genomgår syntes varpå den renas för att kunna användas som drivmedel (Nyström m.fl. 2007). Verkningsgraden för att producera biometan är, enligt Lundberg (2011), ca 67% för indirekt förgasning och 66% vid trycksatt cirkulerad fluidiserad bädd (CFB). Verkningsgraden för spillvärme beräknas till 23% respektive 24% vilket ger en total verkningsgrad om 90% vid tillverkning av endast biometan.

## 6.2 El & värme

Den vanligast förekommande tekniken för att generera el utifrån bioenergi är genom kraftvärme. I ett kraftvärmeverk eldas bränslet i en panna som förångar vatten. Vattenångan får sedan passera en turbin som driver en generator. Generatoren alstrar ström som kan ledas ut på nätet. Ångan, som har passerat turbinen, kondenseras med hjälp av kylvatten och leds sedan vidare tillbaka till ångpannan. Kondensvattnet tas till vara och utnyttjas som fjärrvärme.

Processen i kondenskraftverk liknar processen för kraftvärme med skillnaden att spillvattnet inte tas till vara. Eftersom kondenskraft är byggt för maximal elproduktion blir elverkningsgraden aningen högre än för kraftvärme (ca 40%) medan den totala verkningsgraden blir betydligt lägre (IVA 2002).

För el och värmeproduktion i mindre skala finns ett antal tekniker som kan bli aktuella för framtida bruk. Även här kan förgasning komma att bli aktuellt. Småskalig el- och värmeproduktion med förgasning av biomassa fungerar på samma sätt som kombikraftverk med skillnaden att all gas används för elgenerering med hjälp av en gasmotor. Den beräknade elverkningsgraden ligger kring 30% (Sundberg m.fl. 2011).

Elgenerering med hjälp av en stirlingmotor sker genom att arbetsmediumet, som vanligen utgörs av helium eller vätgas, expanderas genom uppvärmning vilket får en kolv att röra sig fram och tillbaka. Rörelsen omsätts till en vevaxel som driver en turbin som i sin tur är kopplad till en generator för elproduktion. Stirlingmotorn kan försörjas med stor bränsleflexibilitet och fasta biobränslen kan användas såsom gasformiga. Anläggningen är lämplig för småskaligt bruk på grund av dess långa

## KAPITEL 6. OMVANDLINGSTEKNIKER

livslängd samt dellastegenskaper och finns redan för kommersiellt bruk (Sundberg m.fl. 2011).

I en ORC- (Organic Rankine Cycle) anläggning är grundtekniken lik en vanlig ångcykel medan arbetsmediumet istället består av en organisk vätska med låg kokpunkt. Processen blir därmed effektiv i liten skala där höga temperaturer och tryck är svåra att åstadkomma. Traditionellt har spillvatten använts för att förånga arbetsmediumet på anläggningens högtrycksida men även biobränsleeldade ORC-anläggningar med högtempererad värme har på senare tid utvecklats och har generellt en högre verkningsgrad på grund av en större temperaturdifferens.

I en mikroturbin komprimeras inkommande luft varpå luften får passera en turbin med en ansluten generator. Den komprimerade luften värms upp med hjälp av en extern brännare och får sedan expandera genom gasturbinen och el alstras. Värmen kan återvinnas dels genom att värma upp ny inkommande luft och dels för att värma upp vatten. Tekniken är ännu inte kommersiell och vanligtvis förbränns naturgas men även biogas eller gas från förgasning av biomassa kan komma ifråga (Sundberg m.fl. 2011).

## Kapitel 7

# Framtida bioenergiuttag

Hur mycket bioenergi som finns tillgängligt år 2050 beror på ekonomiska, ekologiska, sociala och tekniska faktorer. Även om tillgången på fysisk biomassa är god kan uttaget begränsas, till exempel på grund av att andra bränslen är billigare vilket gör att uttaget av bioenergi blir lägre än om priset på marknaden är högt. På samma sätt kan ekologiska faktorer komma att begränsa uttaget eftersom det är eftersträvansvärt att bibehålla en levande skog samt ett rikt växt- och djurliv enligt de uppsatta miljömålen (Naturvårdsverket 2012e).

Trots ovanstående har arbetet fokuserat på den biomassa som fysiskt finns tillgänglig och kan användas i energiändamål. Hur mycket bioenergi som skattats finns tillgänglig baseras på antagande om att arealerna skogsmark respektive jordbruksmark förhåller sig såsom år 2005 (tabell 5.1) medan utvecklingen i övrigt medför att ett större uttag av bioenergi kan göras år 2050 jämfört med dagsläget. Jordbruket bidrar till ett ökat uttag till följd av att åkerbränslen och energigrödor odlas på tidigare obrukad åkermark samt på trädesarealer samtidigt som skörden ökar med förädlingspotential och effektiviseringsåtgärder. Samtidigt antas en större andel av jordbrukets restprodukter användas i energiändamål såsom halm och gödsel. För skogsbruk antas uttaget kunna öka genom större skörd av biomassa såsom stubbar, klana träd mm. Ingen hänsyn har tagits till varken förändrade matvanor som kan komma att leda till ökad tillgänglighet av jordbruksmark eller längre växtsäsongen till följd av ett varmare klimat.

Av den bioenergi som skattats kunna utvinnas år 2050 har Uppsala kommun andel beräknats genom att dela kommuns befolkning med det totala antalet invånare i länet år 2009. I Uppsala kommun bodde år 2009 194 751 personer och sammanlagt i länet 331 898 personer vilket medför att Uppsala kommun utgör 58,7% av den totala befolkningen (SCB 2010).

### 7.1 Åkerbränslen och energigrödor

Jordbruket kan bidra till ett hållbart energisystem dels genom att producera råvaror som kan användas i energisyrfte och dels genom att minska sin användning av

## KAPITEL 7. FRAMTIDA BIOENERGIUTTAG

fossila bränslen. Idag nyttjas en mindre del av jordbruksarealen till odling av energigrödor (3% i genomsnitt år 2006) (SOU 2007).

Att skatta framtidens potential att utvinna bioenergi från jordbruket är naturligtvis inte enkelt och påverkas av vilka antaganden som görs angående markyta, vilka grödor som odlas och samt vilka restprodukter som kan tänkas uppkomma. Biobränslen från jordbruket kan bestå av restprodukter från växtodling (såsom halm eller blast) och av energigrödor (traditionella eller nya). Energigrödor kan odlas på både befintlig åkermark men även nedlagd åkermark kan komma att vara aktuell (SOU 2007).

### 7.1.1 Avsatt areal för energiskog

År 2012 odlades Salix på 2016 ha i Uppsala län. Denna yta antas bestå. Med en medelskörd om 11,09 ton ts per år och ett genomsnittligt energiinnehåll om 4,4 MWh per ton ts (Jordbruksverket 2013) fås totalt 98 GWh.

### 7.1.2 Areal som idag används för export av spannmål

Ca 10 000 ton spannmål exporteras idag till Agroetanols fabrik i Norrköping. Detta motsvarar 44 GWh vilket skulle kunna användas inom länet (Hellstedt 2013). Med en medelskörd om 5 574 kg per ha (SCB 2012) tas 1 794 ha jordbruksmark i anspråk.

### 7.1.3 Nedlagd åkermark

I utredningen Kartläggning av mark som tagits ur produktion (Jordbruksverket 2008) har de förändringar av jordbruksarealen som gjorts de senaste 10-20 åren inventerats genom att använda en blockdatabas, en geografisk databas där Jordbruksverket kartlägger landets jordbruksmark. Om antalet block som sökt och inte sökt stöd (helt eller delvis) år 1998 jämförs med antalet för år 2006 kan antalet block som tagits ur blockdatabasen under perioden beräknas. Genom att använda flygfoton har man kunnat bedöma kvaliteten på marken. Dessutom har den skattade arealen jämförts med rikstaxeringen för skog samt områden som övergått till bebyggd mark.

I Uppsala län har ca 2% av jordbruksmarken inte sökt stöd under perioden vilket motsvarar ca 3 000 ha. Därtill tillkommer 4% av marken där stöd delvis har sökts under perioden vilket i sin tur motsvarar ca 6 000 ha. Av flygfotonas kvalitet bedöms mellan 30-40% av den mark som inte sökt stöd och 70-80% av den mark där stöd delvis har sökts vara brukbar. Dock är markkvaliteten svårare att avgöra och restaureringsarbete kan i många fall krävas om marken ska återtas i bruk (Jordbruksverket 2008).

I beräkningarna av den mark som skulle kunna nyttjas för odling av bioenergi har 30% av den åkermark som inte har sökt stöd och 70% av den mark som delvis sökt stöd antagits kunna återtas i bruk. Totalt motsvarar detta 5 100 ha. Vilka energigrödor som odlas på marken är svårt att fastställa på förhand medan Salix och



rörflen ansetts passande oavsett slutanvändning och antas odlas på 50% av arealen vardera. För rörflen är genomsnittsskörden kring 6,12 ton ts per ha och med ett energiinnehåll om 4,9 MWh per ton ts skulle ca 30 MWh per ha bioenergi kunna odlas på nedlagd åkermark. För Salix är motsvarande siffra 49 MWh per ha och år. I båda fallen har jordbruksverkets kalkyler för mellan hög till hög skörd använts för beräkning av skördenivå och energiinnehåll (Jordbruksverket 2013).

### 7.1.4 Energigrödor på nuvarande trädesareal

Sammanlagt låg 16 500 ha i träda år 2012 (tabell 5.2) motsvarande ca 8% av den totala jordbruksmarken. Det finns möjlighet att nyttja trädesarealen för odling av energigrödor utan att kvaliteten på marken försämras. De grödor som har antagits odlas på nuvarande trädesareal är en mix av Salix, rörflen och hampa som fördelas lika över arealen. Vidare har skördenivåerna uppskattats med hjälp av jordbruksverkets kalkyler för medelhög till hög skörd. För hampa är genomsnittsskörden ca 45 ton per ha och energiinnehållet ca 0,85 MWh per ton. Om hela trädesarealen används för odling av energigrödor och fördelas jämt mellan grödorna Salix, rörflen och hampa blir den totala potentialen ca 644 GWh.

### 7.1.5 Biogas av gödsel & odlingsrester

I studien Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter (Linné m.fl. 2008) har statistik för gödsel från nöt, svin, fjäderfä, får och häst behandlats. Genom att skatta andelen ts i de olika gödseltyperna tillsammans med statistik för djurhållning i respektive län har total mängd gödsel tagits fram. I Uppsala län har gödselproduktionen beräknats till 81 ton ts per år.

I Uppsala län används en mycket liten areal för odling av sockerbeter varför blast från sockerbeter har försumrats. Däremot odlas här mat- och stärkelsepotatis. Man uppskattar att ungefär 9,5% av matpotatisskörden bortsorteras. För stärkelsepotatis är samma siffra 0,4%. Skörden potatisblast antas vara 2,7 ton ts per hektar medan 25% beräknas gå förlorat vid ensilage och hantering. Utöver potatisblast tillkommer även vall som används för att fixera kväve och på så sätt tillför näring till marken. Idag skördas inte vallen men man räknar med att 2,6 ton ts finns tillgängligt.

I Sverige odlas grödor vars restprodukt är halm på ca 1,1 miljoner hektar. Grödorna består bland annat av korn, havre, råg och vete där kärnor och frön avskiljs. Ca hälften av biomassan utgörs av halm och ts-halten är uppemot 85%. Vid bärgningen uppkommer förluster av stubb, agnar, boss och spill som tillsammans uppgår till ca 30% av den totala halmskörden. I Uppsala län beräknas 170 tton halm från vete, 143 tton från råg, havre och korn och 39 tton från oljevaxter kunna tillgodogöras i energisammanhang.

Hur stort utbytet blir mellan råvara och slutprodukten biogas beror på en mängd faktorer. För flytgödsel har lagringstid, hantering och foderstat betydelse för det slutliga utbytet som varierar mellan 125 och 490 m<sup>3</sup> per ton ts. I beräkningen har

## KAPITEL 7. FRAMTIDA BIOENERGIUTTAG

dock ett medelvärde om  $150 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ts}$  använts. För fastgödsel har utbytet av biogas från hästgödsel antagits vara  $120 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ts}$  på grund av ett högt halminnehåll som ger ett relativt lågt biogasutbyte. För fjäderfägödsel har utbytet satts till  $150 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ts}$ . Svin- och nötgödsel har också antagits ha ett utbyte om  $150 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$  medan det för fårgödsel användes samma siffra som för hästgödsel. För potatisrester fås ett högt metanutbyte vid samrötning vilket har uppskattats till  $330 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton ts}$ . För halm har det praktiska utbytet av biogas antagits vara  $160 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4$  (Linné m.fl. 2008).

Med hjälp av biogasutbytet för olika substrat har den totala biogaspotentialen beräknats. I Uppsala län skattas den potentialen för gödsel till ca 123 GWh varav den största delen kommer från nötgödsel. För blast, vall och halm uppgår samma siffra till 526 GWh varav halm utgör 515 GWh. Dock finns ett antal begränsningar som gör att den tillgängliga råvaran för rötning kommer att bli mindre än ovanstående siffror. Begränsningarna uppkommer i samband med hanteringsförluster, ekonomiska restriktioner och konkurrerande användningsområden varför den totala potentialen med begränsningar reduceras till totalt 513 GWh per år i länet (Linné m.fl. 2008).

### 7.1.6 Halm

Ett annat tänkbart användningsområde för restprodukten halm är att förbränna den. Linné m.fl. (2008) skattar att 352 t tot ts finns tillgängligt i Uppsala län. Med ett energiinnehåll om  $17,4 \text{ MJ/kg ts}$  beräknas den totala energin till 1 701 GWh.

### 7.1.7 Förädlingspotential & förbättrad odlingsteknik

Jordbruksgrödor har historiskt optimerats i livsmedel- och foderändamål. Allteftersom utvecklingen går mot att odla rena energigrödor förväntas en relativt stor förädlingspotential. För spannmål har ökningen legat kring 2% medan ökningen för oljeväxter, potatis och vall legat kring 1%. Dock beror ökningen inte enbart på växtförädling utan på förbättrad odlingsteknik, gödselhantering mm. I framtiden förväntas därför ökning bli mindre än tidigare. Dessutom kan skördenivåerna i framtiden komma att bli mindre till följd av en utökad omfattning av ekologisk odling. Börjesson (2007) skattar den årliga skördeökningen till 2% för spannmål, sockerbetor och energigrödor såsom Salix, rörflen och hampa medan ökningen för vall och oljeväxter skattas till 1% till och med år 2020. SOU (2007) skattar istället ökningen till 2% under de närmaste 10-15 åren för energispannmål, energibetor samt energigrödor såsom salix, rörflen, hampa m.fl.

I Uppsala län har ökningen i skördenivå antagits vara 2% per år enligt SOU (2007) medan ökningen har antagits pågå i 15 år. Därefter har ingen ökning antagits ske. Förädlingspotentialen innefattar alla grödor som odlas i energiändamål och motsvarar ett ökat uttag om 341 GWh.

### 7.1.8 Summering av åkerbränslen

En summering av ovanstående siffror visar på att jordbruket totalt skulle kunna bidra med mellan 1,8 och 3,1 TWh i Uppsala län. I tabell 7.1 nedan visas den uppskattade energin för respektive kategori, areal samt hur mycket av energin som har antagits användas i Uppsala kommun.

**Tabell 7.1.** Summering av tillgänglig biomassa från jordbruket i Uppsala län, arealer i ha samt Uppsala kommuns andel

|                                      | areal (ha) | länet       | kommunen    |
|--------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Avsatt areal för energiskog          | 2 016      | 98 GWh      | 58 GWh      |
| Energigrödor på trädesareal          | 16 500     | 644 GWh     | 378 GWh     |
| Export av spannmål                   | 1 794      | 44 GWh      | 26 GWh      |
| Förädlingspotential                  | -          | 341 GWh     | 200 GWh     |
| Restprodukter                        |            |             |             |
| Biogas från gödsel och odlingsrester | -          | 513 GWh     | 301 GWh     |
| Varav halm                           | -          | 408 GWh     | 239 GWh     |
| Halm                                 | -          | 1 701 GWh   | 998 GWh     |
| Energigrödor på nedlagd åkermark     | 5 100      | 201 GWh     | 118 GWh     |
| TOTALT                               | 25 410     | 1,8-3,1 TWh | 1,1-1,8 TWh |

## 7.2 Skogsbränslen

Genom att öka skördeintensiteten av GROT och stubbar kan uttaget av biomassa från skog ökas. Egnell (2009) har skattat framtida avverkningsnivåer genom att använda scenariot '90-talets skogsbruket från rapporten Skogliga konsekvensanalyser - skogens möjligheter på 2000-talet (Nilsson 1999). Med antagande om att toppen motsvarar 5% av stamvedsbiomassa och stubbar och GROT 35% vardera har den maximala uttaget av skogsbränslen skattats till kring 120 TWh årligen i landet år 2050.

Tillgången på skogsbränsle har antagits fördelas jämt över landet. För Uppsala län har tillgänglig biomassa från skogsbränsle beräknats genom att använda länets andel av landets totala skogsmark motsvarande 2%. Egnells skattning av tillgänglig biomassa för åren 2041-2050 från skogsbränslen i landet visas i tabell 7.2.

**Tabell 7.2.** Skattade värden på maximalt tillgänglig primärt skogsbränsle i landet [TWh] år 2050, fritt från Egnell (2009)

|         | första gallring | övrig gallring | Föryngringsavverkning | Totalt |
|---------|-----------------|----------------|-----------------------|--------|
| GROT    | 5               | 15             | 43                    | 63     |
| Stubbar | 5               | 15             | 43                    | 63     |

## KAPITEL 7. FRAMTIDA BIOENERGIUTTAG

Hur stort uttag som är ekonomiskt, hållbart och socialt tillgängligt av den maximala andelen primärbränslen från skog beror på flera faktorer. Oljekommissionen uppskattar den årliga användningen av brännved, GROT och stubbar till 52 TWh år 2050 totalt i Sverige vilket motsvarar 1,0 TWh i Uppsala län medan skogsstyrelsen skattar siffran till att vara betydligt lägre (Egnell 2009). Skillnaden beror på vilka antaganden som görs angående begränsande faktorer. Den fysiska tillgången är ett övre tak medan det realiserbart möjliga uttaget av biobränslen från skog utgörs av tekniska, sociala, ekonomiska och ekologiska begränsningar. Oljekommissionens skattning om att nära 40% av den maximalt tillgängliga biomassan kan användas i energisammanhang har använts för att beräkna tillgången i Uppsala län (figur 7.3) (Egnell 2009).

**Tabell 7.3.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig primärt skogsbränsle i Uppsala län [GWh] år 2050 med restriktioner, fritt från Egnell (2009)

|         | första gallring | övrig gallring | Föryngringsavverkning | Totalt |
|---------|-----------------|----------------|-----------------------|--------|
| GROT    | 39              | 156            | 367                   | 562    |
| Stubbar | 39              | 156            | 367                   | 562    |

I Uppsala kommun kommer endast 58,7% av bioenergin från skog finnas tillgänglig enligt tabell 7.4.

**Tabell 7.4.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig primärt skogsbränsle i Uppsala kommun [GWh] år 2050 med restriktioner, fritt från Egnell (2009)

|         | första gallring | övrig gallring | Föryngringsavverkning | Totalt |
|---------|-----------------|----------------|-----------------------|--------|
| GROT    | 23              | 92             | 215                   | 330    |
| Stubbar | 23              | 92             | 215                   | 330    |

### 7.3 Avfall

Avfallsmängden per person i Sverige har legat i stort sett på samma nivå sedan 2004 medan skillnader mellan år tros bero på konjunktursvängningar. Det finns inga tecken på att avfallsmängden, som är starkt kopplad till mängd producerade varor, minskar inom någon sektor (Naturvårdsverket 2012c). Om andelen avfall kan minskas så minskar också växthusgasutsläppen till följd av en lägre produktion. Styrmedel för att minska avfallsmängder har visat sig ha låg effekt jämfört med konjunktursvängningar och konsumentens livsstil. Därmed beror framtidens avfallsmängder mycket på i vilken riktning industrin utvecklas, hur konsumentmönster ser ut och den tekniska utvecklingen (Naturvårdsverket 2012d). Naturvårdsverket har enligt EU-direktiv för avfall arbetat fram en plan för förebyggande av avfall för åren 2014-2017 med fokus på sektorerna textilier, mat, elektronik och

## KAPITEL 7. FRAMTIDA BIOENERGIUTTAG

bygg- och rivningsavfall (Naturvårdsverket 2013b). Att förebygga avfall innebär, enligt Profus rapport Avfallsminskning i ett systemperspektiv (2010), den största miljövinsten i syfte att minska växthusgasutsläpp i ett livscykelperspektiv. Ingen hänsyn har dock tagits till undvikna utsläpp till följd av förebyggande åtgärder.

I IVL:s rapport Model for future waste generation (2010) förutspås avfallsmängden per person i scenariot global sustainability minska med 2% per år tom 2050, d.v.s. med 53% totalt. Avfall från industri antas istället minska med 3% årligen vilket skulle innebära en total minskning med 68% till följd av ökade materialkostnader, teknisk utveckling och politiska insatser.

Trots ovanstående har avfallsmängden som används till fjärrvärmeproduktion år 2011 antagits bestå till år 2050. Totalt användes 993 GWh avfall år 2011 (tabell 4.1) medan 143 GWh går åt till att förse ång- och kylbehov. Återstående 850 GWh användes till att producera fjärrvärme.

Genom att multiplicera avfallsmängden per person i respektive kommun (tabell 5.3) med befolkningens mängd kan den totala mängden avfall för år 2011 beräknas (bilaga B). För Tierp kommun, som saknar statistik för avfallsmängd, har ett genomsnitt om 179 kg/person och år använts. Totalt genereras 62,5 tusen ton säck- och kärlavfall. Från industrisektorn har mängden antagits vara densamma vilket medför tillgång om totalt 125 tusen ton. Med ett medelenergiinnehåll om 3,5 MWh per ton (Mälarenergi 2012) blir den totala energin ca 422 GWh från hushållsavfall och för industriavfall tillsammans.

Den totala mängden matavfall har antagits minska medan en större del samlas in samtidigt som befolkningstillväxt sker. Därmed har även den totala mängden organiskt avfall som rötas till biogas antagits vara lika stor år 2050 som år 2011. Organiskt avfall anses kunna processeras i respektive kommun varför Uppsala endast har tillgång till 58,7%.

### 7.3.1 Slam

I studien Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter (Linné m.fl. 2008) utreds potentialen att producera biogas från slam från reningsverk. Den totala potentialen skattas till 21 GWh per år i Uppsala län. Hur mycket metangas som erhålls beror på slammets egenskaper som varierar med reningsverk, årstid och väderlek. I beräkningarna har ett medelvärde om 195 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton ts baserat på en studie gjord av Energimyndigheten. Slammängder för respektive län har uppskattats med hjälp av statistik från Energimyndigheten (Linné m.fl. 2008).

## Kapitel 8

# Uppsala kommun 2050

### 8.1 Framtidsscenarier

Två huvudscenarier har tagits fram. I det första scenariot råder en ökad efterfrågan på el varför bioenergin används för elgenerering. I det andra scenariot stiger oljepriset varför den tillgängliga bioenergin används för produktion av biodrivmedel. Båda scenarierna har dessutom delats in i två olika utvecklingar.

Gemensamt för alla scenarier är att de bygger på modellen Referensscenario 2050. För närmare beskrivning, se kapitel 4.

### 8.2 Ökad efterfrågan på el

En möjlig framtidsutveckling är att det år 2050 råder en ökad efterfrågan på el. En ökad efterfråga på el kommer innebära att elproduktion utökas i Uppsala kommun varför en stor del av den tillgängliga bioenergin i kommunen används i Vattenfalls kraftvärmeverk och i småskalig elproduktion.

En ökad elproduktion i Uppsala kommun innebär att det inte kommer att råda brist på värme och energieffektivisering inom byggnadssektorn är försumbar.

Den ökade elproduktionen sker dels i Vattenfalls kraftvärmeverk där bioenergi eldas i den nya panna som planeras tas i bruk år 2020. Bioenergi kommer år 2050 ha ersatt dagens behov av torv, kol och olja medan elverkningsgraden kommer att ha ökat något till följd av en effektivare ångcykel.

Förutom kraftvärmeverket i Uppsala har tre tekniker valts för småskalig elproduktion. Biogas antas i framtiden förbrännas med hjälp av en gasmotor. För att få så hög elverkningsgrad som möjligt har en dieselmotor valts. För förbränning av rörflen och hampa har ORC-motor valts på grund av dess flexibilitet gällande bränsle. För spannmål och halm har istället en stirlingmotor antagits användas. Ingen av dessa tekniker behöver upparbetat biobränsle även om detta kan komma i fråga för att minimera transporter och lagringsutrymme samt på grund av en för hög fukthalt. De antaganden som gjorts i scenariot redovisas i tabell 8.1. Siffror gällande verkningsgrader är uppskattade utifrån litteraturen.

Tabell 8.1. Verkningsgrader i scenarierna A &amp; B då ökad efterfrågan på el råder

| Anläggning    | Elverkningsgrad     | Totalverkningsgrad |
|---------------|---------------------|--------------------|
| VVS           | 42% <sup>a</sup>    | 90% <sup>a</sup>   |
| Stirlingmotor | 18-25% <sup>b</sup> | 90% <sup>c</sup>   |
| ORC-motor     | 15-16% <sup>b</sup> | 80%                |
| Gasmotor      | 45% <sup>d</sup>    | 90% <sup>d</sup>   |

<sup>a</sup>SOU 2005<sup>b</sup>Sundberg m.fl. 2011<sup>c</sup>Lorentz 2012<sup>d</sup>Börjesson m.fl. 2003

Ovanstående elverkningsgrader har antagits komma att öka något för teknikerna ORC- och Stirlingmotor till 18% respektive 30% till år 2050 på grund av de fortfarande befinner sig i forskningsstadiet. För kraftvärmeverket är elverkningsgrad och totalverkningsgrad uppskattad för ett biobränsleeldat kraftvärmeverk utan rökgasrening.

Scenariot har delats in i två olika utvecklingar. I båda fallen ersätts importerad el av nordisk elmix med den el som produceras i kommunen. Utvecklingen i det första fallet sker i övrigt enligt referensscenario 2050. I det andra fallet kommer den ökade efterfrågan på el vara en effekt av att en större del av fordonsflottan drivs med el som därmed ersätter fossila bränslen inom transportsektorn. Hur stor del av fordonsflottan som kan drivas av el har baserats på studien Ett fossilbränsleoberoende transportsystem 2030 (Sköldbberg m.fl. 2010). Båda utvecklingarna har dessutom jämförts med utsläppen från marginalel från nordeuropeisk mix.

Det primära skogsbränslet antas i första hand förbrännas tillsammans med avfall för att generera fjärrvärme och i andra hand användas i Vattenfalls VVS. Avfallet antas även i fortsättningen förbrännas i de befintliga avfallspannorna med samma effekt som för år 2011. Den biogas som genereras utifrån organiskt avfall och slam förbränns med hjälp av gasmotor. I scenariot kommer den uppskattade bioenergin som finns tillgänglig att användas i energisystemet enligt tabell 8.2. För närmare beskrivning av beräkningar, se bilaga A.

Tabell 8.2. Tabell över respektive tekniks substrat samt ingående energi

| Anläggning      | Typ av bioenergi               | Ingående energi |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| Avfallspanna    | Brännbart avfall, skogsbränsle | 1 118 GWh       |
| Vattenfalls VVS | Skogsbränsle, halm, Salix      | 1018 GWh        |
| Storvreta       | Salix                          | 22,8 GWh        |
| ORC-motor       | Rörflen, hampa                 | 420 GWh         |
| Stirlingmotor   | Halm, spannmål                 | 711 GWh         |
| Gasmotor        | Organiskt avfall, slam, gödsel | 90 GWh          |

### **8.2.1 Scenario A: Elen ersätter nordisk elmix**

I ett av scenarierna kommer den genererade elen endast att ersätta importerad el. Utsläppen för den importerade elen har antagits vara samma som för nordisk elmix. Utvecklingen sker i övrigt enligt referensscenario 2050. Ingen avsättningsbegränsning finns för varken el eller värme och energieffektivisering av byggnader sker endast i måttlig utsträckning.

### **8.2.2 Scenario B: Transportsektorn drivs i större utsträckning med el**

En annan tänkbar utveckling är att den ökade efterfrågan på el beror på att en större andel transporter drivs av el. För att nå visionen om att Sverige år 2050 ska ha en energiförsörjning utan nettoutsläpp av växthusgaser har regeringen beslutat om en fossiloberoende fordonsflotta år 2030 (Regeringen 2012). I rapporten Ett fossilbränsleoberoende transportsystem 2030 (Sköldberg m.fl. 2010) utreds möjligheterna att uppnå målet genom olika scenarier varav ett bygger på en utökad användning av el inom transportsektorn. Sköldberg m.fl. uppskattar scenariot som optimistiskt men fullt genomförbart med en uppskattad elanvändning om att 60% av personbilarna drivs med el, elanvändningen för tunga transporter ökar med 1,5 TWh, 20% av alla lastbilstransporter förflyttas från väg till tåg och 20% av bussarna byts till eldrivna trådbussar.

Utvecklingen har antagits stagnera vid 2030 och därmed har ovanstående siffror antagits gälla även för år 2050. En personbil drar ca 2 kWh el per mil (Svensk energi 2011) och ett eldrivet tungt fordon behöver 13,2 kWh per mil. Förbrukningen har antagits gälla för både bussar och för tunga lastbilar. Ett tåg förbrukar i genomsnitt 0,042 kWh per tonkm medan en lastbil i genomsnitt drar 0,52 kWh per tonkm (IVL 2002). Omräknat från förbrukning per tonkilometer antas tåg dra 1,07 kWh per mil.

För personbilar antas 60% av fordonen drivas av el, resterande 40% av bensin (E85). För lätta transporter förflyttas 20% till tåg medan andelen bensindrivna lätta lastbilar antas vara samma som år 2009 (22,6%) och resterande behov försörjs med diesel. För tunga transporter ökar eltrafikarbetet med 35 GWh medan 20% av de totala transportererna förflyttas till tåg och resterande tunga transporter drivs med diesel. 20% av busstrafiken antas vara eldriven år 2050.

### **8.2.3 Marginalel**

Med marginalet menar man den el som tillkommer vid en ökning eller avveckling av produktionen. Beroende på vilken tidshorisont som åsyftas kan marginalet bestå av en eller flera tekniker. I dagsläget består marginalet av el från kolkondenskraft som på grund av kostnadsskäl utnyttjas sist medan störningens effekt är det som i praktiken avgör marginaletens sammansättning. Samma resonemang går att tillämpa på lång sikt medan kolkondenskraft kan ha ersatts av andra energikällor såsom gaseldade kondenskraftverk (Sköldeberg 2006).



### 8.3 Ökad efterfrågan på biodrivmedel

Scenarierna C och D har utgått från att det år 2050 råder ökad efterfrågan på biodrivmedel. Transportsektorn antas fortfarande domineras av förbränningsmotorer varför behovet av biodrivmedel är stort. För Uppsala kommun antas all tillgänglig bioenergi kunna användas för att producera biodrivmedel som ersätter fossila drivmedel. I båda scenarierna C och D antas Vattenfall värme i Uppsala ställa om sin produktion från el till biodrivmedel genom förgasning av biomassa till FT-diesel. Förgasningen sker med högsta utbyte av biodrivmedel (45%) varmed bioprodukterna el och värme antas användas internt i processen för torkning av råvara etc. (SOU 2007).

I scenario C kommer samma totala mängd fjärrvärme levereras som år 2011 (1 324 GWh) och avfallet kompletteras med fasta biobränslen från skog. I scenario D sker energieffektivisering och endast avfall används för fjärrvärmeproduktion. Ytterligare 654 GWh biobränsle blir därmed tillgängligt för produktion av biodrivmedel. Verksamheten i Storvreta antas vara samma som i referensscenariot.

Förutom en förgasningsanläggning för produktion av FT-diesel i Boländerna kommer även etanolproduktion från lignocellulosa äga rum. I etanolproduktionen används biobränsle odlat på åkermark såsom spannmål och hampa. Gödsel, organiskt avfall, slam och restprodukter från jordbruket antas i fortsättningen rötas till biogas som framför allt används i kollektivtrafiken men även som bränsle för personbilar. Vilken teknik som används för respektive biobränsle visas i tabell 8.3 tillsammans med de potentiella energierna.

Tabell 8.3. Tabell över respektive tekniks substrat samt ingående energi

| Anläggning   | Typ av bioenergi                     | Ingående energi |
|--------------|--------------------------------------|-----------------|
| Avfallspanna | Brännbart avfall, skogsbränslen      | 850-1504 GWh    |
| Storvreta    | Skogsbränsle                         | 22,8 GWh        |
| FT-diesel    | Skogsbränsle, Salix, rörflen         | 560-801 GWh     |
| Etanol       | Salix, spannmål, hampa               | 205-619 GWh     |
| Biogas       | Organiskt avfall, halm, slam, gödsel | 329 GWh         |

De antagna verkningsgraderna för respektive process samt energiinnehållet i det producerade fordonsbränslet redovisas i tabell 8.4. För etanol har ett medelvärde på verkningsgraden för utbytet beräknats. För biogas har istället den totala produktionen uppskattats (se kap. 4).

**Tabell 8.4.** Antagna verkningsgrader för drivmedelframställning i scenarierna C & D då ökad efterfrågan på biodrivmedel råder

| Drivmedel | Verkningsgrad    | Energiinnehåll           |
|-----------|------------------|--------------------------|
| FT-diesel | 45% <sup>a</sup> | 9,17 kWh/l <sup>b</sup>  |
| Etanol    | 34% <sup>c</sup> | 6,51 kWh/l <sup>b</sup>  |
| Biogas    | -                | 9,77 kWh/m <sup>3b</sup> |

<sup>a</sup>SOU 2007<sup>b</sup>miljöfordon 2013<sup>c</sup>Med rörfilen som substrat, Ulf 2005

Den producerade FT-dieseln antas i första hand täcka drivmedelbehovet för lätta och tunga transporter. På samma sätt antas etanol ersätta det förväntade bensinbehovet för personbilar år 2050. Biogas antas i första hand användas i bussar men även i personbilar.

Förbrukningen av drivmedel för respektive fordonstyp har tagits från den redan befintliga modellen för år 2050 och redovisas i tabell 8.5.

**Tabell 8.5.** Förväntad bränsleförbrukning för respektive bränsle och fordonstyp år 2050

| Drivmedel | Fordonstyp   | Bränsleförbrukning       |
|-----------|--------------|--------------------------|
| Diesel    | Personbil    | 0,046 l/km               |
|           | Lätt lastbil | 0,086 l/km               |
|           | Tung lastbil | 0,280 l/km               |
| Bensin    | Personbil    | 0,067 l/km               |
|           | Lätt lastbil | 0,078 l/km               |
|           | Tung lastbil | 0,280 l/km               |
| Biogas    | Personbil    | 0,057 m <sup>3</sup> /km |
|           | Buss         | 0,470 m <sup>3</sup> /km |

Den producerade etanolen räcker till att täcka 8% av personbilstransporterna i scenario C respektive 25% i scenario D. Biogas antas i första hand täcka hela transportbehovet för bussar, både inom kommungränserna och för långväga resande och därefter användas som bränsle inom långväga resande med personbil och husvagn samt täcka 16% av personbilsflottans transportbehov. FT-diesel täcker transportbehovet för lätta och tunga lastbilar samt 0,4% av personbilstransporterna i scenario C respektive 14% i scenario D (se bilaga B).

### **8.3.1 Scenario C: Bioenergi eldas för fjärrvärme**

I scenario C antas bioenergi eldas tillsammans med avfall i Vattenfalls anläggning i Boländerna för att generera samma mängd fjärrvärme som år 2011. Energieffektivisering sker endast enligt boverkets kravnivå. Det befintliga beståndets energieffektivisering sker enligt referensscenario 2050 med 0,2% per år inom privat och offentlig sektor samt inom industri. För bostäder antas energieffektivisering istället ske med 0,25% för småhus och 0,15% för flerbostadshus. Minskningen antas ske linjärt under tidsintervallet. År 2050 antas den levererade mängden fjärrvärme vara lika stor som år 2011 (tabell 4.1). Energibehovet täcks med knappt 60% av avfall medan resterande bränsle består av GROT.

### **8.3.2 Scenario D: Energieffektivisering sker**

I scenario D antas istället transportbehovet tillgodoses med drivmedel i första hand. Den bioenergi som i föregående fall har antagits eldas tillsammans med avfall kommer att ersättas med hjälp av energieffektiviseringsåtgärder. Effektiviseringen motsvarar 654 GWh och medför att fjärrvärmebehovet minskar med 44,5%. För närmare beskrivning över hur behovet minskar, se bilaga C.

## Kapitel 9

# Klimatpåverkan

Bioenergi anses i många fall vara koldioxidneutralt på grund av att växter tar upp samma mängd koldioxid i tillväxtfasen som sedan släpps ut vid förbränningen. Dock beror den totala minskningen i CO<sub>2</sub>-utsläpp på hur effektiv produktionskedjan är och hur mycket insatsenergi som krävs vid uppgraderingen.

För fasta biobränslen ligger behovet av hjälpenergi i snitt mellan 2-4% motsvarande mellan 2 och 6 g CO<sub>2</sub>/MJ bränsle. Stubbar medför högre utsläpp medan övriga skogsbränslen ligger i det undre spannet. Transportavstånd har stor inverkan på resultatet där längre transporter medför högre emissioner (Energimyndigheten 2011).

För bioenergi från åkern kan kväveläckage från kvävegödsling ha betydelse för hur stora de totala emissionerna av växthusgaser blir i produktionskedjan. Hur stora utsläppen blir varierar dock kraftigt och fleråriga grödor orsakar generellt sett lägre utsläpp än ettåriga grödor. Dessutom uppkommer utsläpp i samband med produktionen av gödsel som kan minskas med mellan 70-90% genom katalytisk kväverening. Faktorer såsom jordmån, geografiskt läge, bearbetningsmetod etc. av stor betydelse för hur stora växthusgasutsläppen blir medan emissioner av lustgas från jordbruksmark varierar till följd av markens sammansättning, tillgången på syrgas, organiskt material och tillgång på kväve. Sambandet mellan kvävegödsling och lustgasemissioner är fortfarande inte helt fastställt (Energimyndigheten 2011).

För skogsbruket är lustgasutsläpp betydligt lägre än för jordbruksmark vilket delvis tros bero på att marken inte utsätts för bearbetning, gödsling etc. i samma utsträckning som jordbruksmark. Dessutom är kväve begränsande för tillväxten i skog varför det omedelbart tas om hand (Energimyndigheten 2011).

### 9.1 Elgenerering och växthusgasutsläpp

I tabell 9.1 redovisas de emissionsfaktorer för respektive bränsle som använts i simuleringen. Utsläppen har i så hög grad som möjligt baserats på Miljöfaktaboken (Gode m.fl. 2011) där livscykelanalyser för olika bränslen sammanställts och anpassats för svenska förhållanden. Emissionsfaktorn beskriver den totala miljöbe-

## KAPITEL 9. KLIMATPÅVERKAN

lastningen och inkluderar råvaruutvinning, förädling, transport och förbränning. För närmare beskrivning över hur emissionsfaktorerna har beräknats samt vilka avgränsningar som har gjorts, se Miljöfaktaboken. I LEAP-modellen används i det här fallet endast koldioxidutsläpp varför  $GWP_{100}$  har används för att konvertera metan- och lustgasutsläpp till koldioxidekvivalenter. Metan har  $GWP_{100}$ -faktorn 21 och lustgas har  $GWP_{100}$ -faktorn 310 (SOU 2000). För närmare beskrivning av beräkningar, se bilaga D.

För biogas gäller att utsläppen har antagits vara samma som för upparbetad biogas som används i en förbränningsmotor. Gällande rörflen har ingen uppskattning på växthusgasutsläpp i ett livscykelerspektiv funnits att tillgå varför växthusgasutsläppen antagits minska med 80% jämfört med förbränning av kol enligt studien Energiproduktion från rörflen (SLU 2008). För kol och olja inkluderar utsläppsfaktorn förutom produktion och distribution även användning av fjärrvärme.

Förbränning av restprodukter såsom halm är fördelaktiga i energiändamål eftersom de inte tar ny mark i anspråk. Därmed kommer inte direkt förändrad markanvändning att medföra tillskott av växthusgasutsläpp. I livscykelanalysen Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark (Nguyen m.fl. 2013) har växthusgasutsläppen för förbränning av halm kartlagts och beräknats där halmen samlas in, förbehandlas, transporteras till förbränningsanläggningen där halmen förbränns och el genereras med värme som biprodukt. Bottenaskan har antagits återföras ekosystemet. Genom föregående avgränsningar har  $GWP$ -faktorn beräknats vara 0,083 kg  $CO_2$ -ekvivalenter per konsumerad kWh el. På grund av att den funktionella enheten är producerad kWh el har utsläppen valts att fördelas mellan fjärrvärme och el med en totalverkningsgrad om 90% istället för 30% vilket medför en emissionsfaktor om 0,028 kg  $CO_2$ -ekvivalenter per konsumerad kWh el och värme. Detta för att underlätta jämförelse av resultatet. För spannmål har emissionsfaktorn uppskattats utifrån studien Uncertainties in the carbon footprint of refined wheat products: a case study on Swedish pasta. Resultatet visar på att spannmål släpper ut 0,31 kg  $CO_2$ -ekvivalenter per kg som produceras vilket motsvarar 78 g  $CO_2$  per producerad kWh eller 21,7 g  $CO_2$  per MJ spannmål som används som bränsle.

För förbränning av hampa har växthusgasutsläppen antagits vara lika stora som för rörflen, d.v.s. 80% reduktion jämfört med kol, på grund av bristande underlag. Förbränning av biogas av halm har antagits ge upphov till lika stora utsläpp som för biogas av vall.

Ingående el har antagits vara nordisk elmix med utsläpp om 125,5 g  $CO_2$  per kWh enligt Energimyndighetens riktlinjer (Energimyndigheten 2013). Utvecklingen för utsläppen har antagits ske enligt Profus prognoser där de totala växthusgasutsläppen minskar med 17,5% till år 2016 samt ytterligare 7,5% till år 2030 (Larsson 2012). För marginalel på lång sikt uppskattas utsläppen till 600 kg  $CO_2$  per MWh vid måttliga klimatambitioner och 150 kg  $CO_2$  per MWh vid höga klimatambitioner (Elforsk u.å). I det här fallet har det senare alternativet ansetts vara bäst lämpat.

Tabell 9.1. Emissionsfaktorer för bibränslen vid förbränning (g/MJ bränsle)

| Bränsle                  | Fossil CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub>      | N <sub>2</sub> O     | CO <sub>2</sub> -ekv. |
|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| GROT                     | 1,9                    | 1,4·10 <sup>-4</sup> | 6,4·10 <sup>-5</sup> | 1,90                  |
| Gallringsvirke           | 1,8                    | 2,3·10 <sup>-3</sup> | 5,9·10 <sup>-5</sup> | 1,82                  |
| Stubbar                  | 2,6                    | 2,9·10 <sup>-4</sup> | 8,8·10 <sup>-5</sup> | 2,63                  |
| Salix                    | 3,7                    | 5,0·10 <sup>-3</sup> | 2,0·10 <sup>-2</sup> | 9,66                  |
| Biogas av gödsel         | 8,9                    | 1,1·10 <sup>-1</sup> | 0                    | 11,2                  |
| Biogas av halm           | 13,9                   | 1,1·10 <sup>-1</sup> | 1,1·10 <sup>-2</sup> | 19,5                  |
| Biogas av org. avfall    | 8,7                    | 1,1·10 <sup>-1</sup> | 0                    | 11,0                  |
| Biogas från slam         | 0,71                   | 1,0·10 <sup>-1</sup> | 0                    | 1,23                  |
| Kol                      | 106                    | 1,4·10 <sup>-2</sup> | 1,3·10 <sup>-2</sup> | 106,7                 |
| Olja                     | 79,6                   | 3,0·10 <sup>-2</sup> | 6,5·10 <sup>-4</sup> | 80,4                  |
| Hushållsavfall           | 37,9                   | 2,8·10 <sup>-3</sup> | 3,7·10 <sup>-4</sup> | 38,0                  |
| Grovavfall               | 26,4                   | 4,1·10 <sup>-3</sup> | 2,7·10 <sup>-4</sup> | 26,5                  |
| Torv                     | 114,8                  | 3,4·10 <sup>-2</sup> | 8,2·10 <sup>-3</sup> | 118,0                 |
| Förbränning av halm      | -                      | -                    | -                    | 7,69                  |
| Förbränning av rörflen   | -                      | -                    | -                    | 21,3                  |
| Förbränning av hampa     | -                      | -                    | -                    | 21,3                  |
| Förbränning av spannmål  | -                      | -                    | -                    | 21,7                  |
| Nordisk elmix            | -                      | -                    | -                    | 26,6                  |
| Nordeuropeisk marginalet | -                      | -                    | -                    | 54,0                  |

De livscykelanalyser som har använts för att uppskatta respektive bränsles emissionsfaktor skiljer sig naturligtvis åt i utformning gällande systemgränser, utformning, antaganden o.s.v. Gemensamt för alla studier som har använts är dock att den funktionella enheten har valts till producerad mängd energi samt att fysisk allokering genomförts.

## 9.2 Biodrivmedel och växthusgasutsläpp

Den främsta anledningen till att biodrivmedel anses mer miljövänliga än fossila bränslen är att de är koldioxidneutrala vid förbränning. Minskade utsläpp av föroreningar såsom CO, HC, VOC och partiklar har även påvisats vid förbränning av etanol och biodiesel (IVL 2002). Dock visar olika studier på olika resultat gällande utsläpp av växthusgaser där vissa studiers resultat tyder på liten skillnad i utsläpp medan andra visar på ökade utsläpp av CO<sub>2</sub>-utsläpp. Om utsläpp från förändrad markanvändning inte tas med i beräkningarna minskar växthusgasutsläppen i förhållande till utsläpp från fossila drivmedel. Om dessa däremot tas med i beräkningarna finns inget entydigt resultat på hur växthusgasutsläppen förhåller sig till fossila drivmedel medan resultatet beror på vilken typ av land som tas i anspråk samt vilken tidsbasis studien är utförd på (Timilsina 2013).

## KAPITEL 9. KLIMATPÅVERKAN

Skillnader i resultat från olika LCA-studier beror dels på hur systemen utformas, dels på hur beräkningarna genomförs. Framför allt fyra faktorer lyfts fram som betydelsefulla för hur klimateffektiva biodrivmedel är; effektivitet och utsläpp av klimatgaser i samband med odling, vilka bränslen som används vid produktion av drivmedel, hur effektivt eventuella biprodukter tas om hand och vilken typ av mark som nyttjas vid odling (Börjesson 2008).

I tabell 9.2 redovisas de utsläppsfaktorer som har använts för biodrivmedel. Emissionsfaktorerna för bensin och diesel har tagits från miljöfaktaboken (Gode m.fl. 2011). Eftersom större delen av den bensin som säljs i Sverige har inblandning om 5% etanol har endast denna typ av bensin behandlats. Ambitionen i landet är att öka inblandningen av etanol till 10% vilket skulle innebära minskade utsläpp av CO<sub>2</sub>, kolväten och partiklar (Jonsson 2007) medan ingen hänsyn har tagits till hur emissionsfaktorn förändras med en ökning av inblandningen. För diesel gäller att merparten av det bränsle som säljs i Sverige är låginblandad med 5% FAME.

För FT-diesel har klimatutsläpp uppskattats med hjälp av en LCA utförd av IVL (Hagberg 2009) där reduktionen i utsläpp antas vara 60% jämfört med diesel när den syntetiska dieseln produceras av GROT. För biogas har studien Livscykelanalys av svenska biodrivmedel (Börjesson m.fl. 2010) använts. Reduktionen jämfört med fossila drivmedel (utsläpp av växthusgaser har antagits vara 83,8 g per MJ) har beräknats till 88% för organiskt hushållsavfall, 90% för industriavfall, 68% för vallbaserad biogas och 86% för gödselbaserad biogas (Börjesson m.fl. 2010). Biogas producerad utifrån halm har antagits ha samma emissionsfaktor som biogas från vall medan emissionsfaktorn för biogas från slam har tagits från miljöfaktaboken.

För att bedöma miljöpåverkan från andra generationens bioetanol från cellulosa-rika substrat har studien Life cycle assesment of second generation bioethanol produced from scandinavian boreal forest resources (Bright 2009) använts där reduktionen i växthusgasutsläpp uppskattats till mellan 44 och 62% jämfört med bensin. I simuleringen har ett medelvärde av dessa använts, d.v.s. 53%. Studien Life cycle assesment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops (Fazio 2011) har använts för att bestämma emissionsfaktorn för bioetanol med spannmål som substrat medan andra generationens bioetanol producerat utifrån rödhirs har ansetts vara jämförbart med rörflen samt med hampa som substrat. I studien har ingen hänsyn tagits till utsläpp till följd av ett förändrat kollager i marken på grund av komplexa förhållanden. Emissionsfaktorn för etanol som tillverkas från Salix har hämtats från studien Life-Cycle Assessment for the Production of Bioethanol from Willow Biomass Crops via Biochemical Conversion (Budsberg m.fl. 2012). Resultatet visar på en reduktion i utsläpp om 77% jämfört med diesel om energiallokering sker. Inte heller här har hänsyn tagits till förändrade kollager i marken.

Gemensamt för alla studerade livscykelanalyser då de inte är hämtade ut Miljöfaktaboken är att växthusgasutsläppen har allokerats på energi.

## KAPITEL 9. KLIMATPÅVERKAN

Tabell 9.2. Emissionsfaktorer för bibränslen vid förbränning (g/MJ bränsle)

| Bränsle                       | Fossil CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub>      | N <sub>2</sub> O      | CO <sub>2</sub> -ekv. |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bensin, personbil             | 76,0                   | 4,9·10 <sup>-2</sup> | 2,45·10 <sup>-3</sup> | 77,8                  |
| Bensin, lastbil               | 76,0                   | 6,1·10 <sup>-2</sup> | 4,4·10 <sup>-3</sup>  | 77,7                  |
| Diesel, personbil             | 75,9                   | 3,3·10 <sup>-2</sup> | 3,0·10 <sup>-3</sup>  | 77,6                  |
| Diesel, lastbil               | 75,9                   | 3,3·10 <sup>-2</sup> | 2,6·10 <sup>-3</sup>  | 77,4                  |
| FT-Diesel, personbil          | 30,4                   | 1,3·10 <sup>-2</sup> | 1,2·10 <sup>-3</sup>  | 31,0                  |
| FT-Diesel, lastbil            | 30,4                   | 1,3·10 <sup>-2</sup> | 1,1·10 <sup>-3</sup>  | 31,0                  |
| Biogas av org. hushållsavfall | -                      | -                    | -                     | 9,34                  |
| Biogas av org. ind. avfall    | -                      | -                    | -                     | 7,78                  |
| Biogas av gödsel              | -                      | -                    | -                     | 10,9                  |
| Biogas av slam                | 0,72                   | 0,10                 | -                     | 2,89                  |
| Biogas från vall              | -                      | -                    | -                     | 11,7                  |
| Etanol av GROT                | 35,7                   | 2,3·10 <sup>-2</sup> | 1,2·10 <sup>-3</sup>  | 36,6                  |
| Etanol av vete                | -                      | -                    | -                     | 32,0                  |
| Etanol av Salix               | -                      | -                    | -                     | 17,8                  |
| Etanol av rörflen             | -                      | -                    | -                     | 11,0                  |
| Etanol av hampa               | -                      | -                    | -                     | 11,0                  |
| Hushållsavfall                | 37,9                   | 2,8·10 <sup>-3</sup> | 3,7·10 <sup>-4</sup>  | 38,0                  |
| Grovavfall                    | 26,4                   | 4,1·10 <sup>-3</sup> | 2,7·10 <sup>-4</sup>  | 26,5                  |
| Torv                          | 114,8                  | 3,4·10 <sup>-2</sup> | 8,2·10 <sup>-3</sup>  | 118,0                 |

### 9.3 Förändrad markanvändning

När man väljer att förändra sammansättningen av grödor på en jordbruksmark påverkas mängden biomassa ovan och under jord. I ett växthusgasperspektiv är det, som tidigare nämnt, viktigt om marken binder eller frigör lustgas på grund av dess starka egenskaper som växthusgas. Dessutom är det av betydelse om markens kolförråd byggs upp eller bryts ned. Om kolförrådet bryts ned frigörs koldioxid och marken fungerar som kolkälla. Om kolförrådet istället byggs upp kommer marken att binda koldioxid och fungerar därmed som kolsänka. För framförallt biodrivmedel spelar markens egenskaper stor roll för hur stor den totala klimatpåverkan blir (Ahlgren m.fl. 2011).

Med dLUC (direct land use change) menas direkt förändrad markanvändning medan iLUC (indirect land use change) betyder indirekt förändrad markanvändning. En ökad efterfråga på en produkt, till exempel ett biodrivmedel, kan få till följd att priset på varan stiger som leder till att konsumtionen av varan minskar. En annan tänkbar effekt är att lantbrukaren reagerar på den ökade efterfrågan med större skördar till följd av ökad gödsling, bevattning mm. Om den efterfrågade grödan istället odlas på tidigare obrukad mark eller ersätter en annan gröda kommer detta att ge upphov till direkt förändrad markanvändning. Hur markens kolbalans påverkas beror på dess ursprungliga innehåll av markkol, vilken gröda som odlas,



## KAPITEL 9. KLIMATPÅVERKAN

odlingsstrategi mm.

Den grödan som blir ersatt i föregående fall kan, precis som tidigare, ge upphov till att priset stiger och konsumtionen minskar men även leda till ökad produktion, d.v.s. att den odlas på tidigare obrukad mark och att denna gröda i sin tur ersätter en annan. I detta fall är det frågan om indirekt förändrad markanvändning. dLUC är därmed kopplad till de utsläpp som sker på marken där grödan odlas medan iLUC är utsläpp som sker till följd av en förändrad efterfrågan på marknaden (Ahlgren m.fl. 2011).

Även de biprodukter som bildas i samband med produktion av biobränslen, framförallt biodrivmedel, kan ge upphov till indirekta markeffekter då biprodukten kan ersätta andra varor och därmed frisätta jordbruksmark.

### 9.3.1 Förändrad markanvändning och växthusgaser

Utsläppen av växthusgaser påverkas när vegetation eldas för att röja för ny markanvändning, när marken brukas annorlunda och således kollager i mark och vegetation ändras och när intensiteten i odlingen förändras. Interngovernmental Panel on Climate Change (IPCC) har arbetat fram riktlinjer för hur växthusgasutsläpp från förändrad markanvändning ska behandlas. Riktlinjerna innefattar kolförändringar i levande och död biomassa samt hur kolet i marken påverkas. För att bestämma hur kollagret i levande och död biomassa förändras behöver man veta vilken klimatzon marken befinner sig i, vilken landtyp det rör sig om och vilken sorts biomassa som påverkas. Dessutom behöver man veta vilken jordart det rör sig om för att bestämma förändringen i markkol samt hur odlingen sköts. Skillnaden i växthusgaser som uppstår vid förändrad markanvändning bestäms genom att beräkna differensen mellan kolinnehållet i marken före och efter förändringen och därefter slå ut det på 20 år (Ahlgren m.fl. 2011).

Resultaten från olika studier som undersöker växthusgasutsläpp från iLUC varierar dock kraftigt. Vilken modell som används tros vara en bidragande orsak men även hur modellen är uppbyggd (olika modeller kan ha olika världsuppfattning). Dessutom tillkommer alltid en osäkerhet gällande framtida utsläpp (Ahlgren m.fl. 2011).

**Del IV**

**Resultat**

## Kapitel 10

# Simulering i LEAP

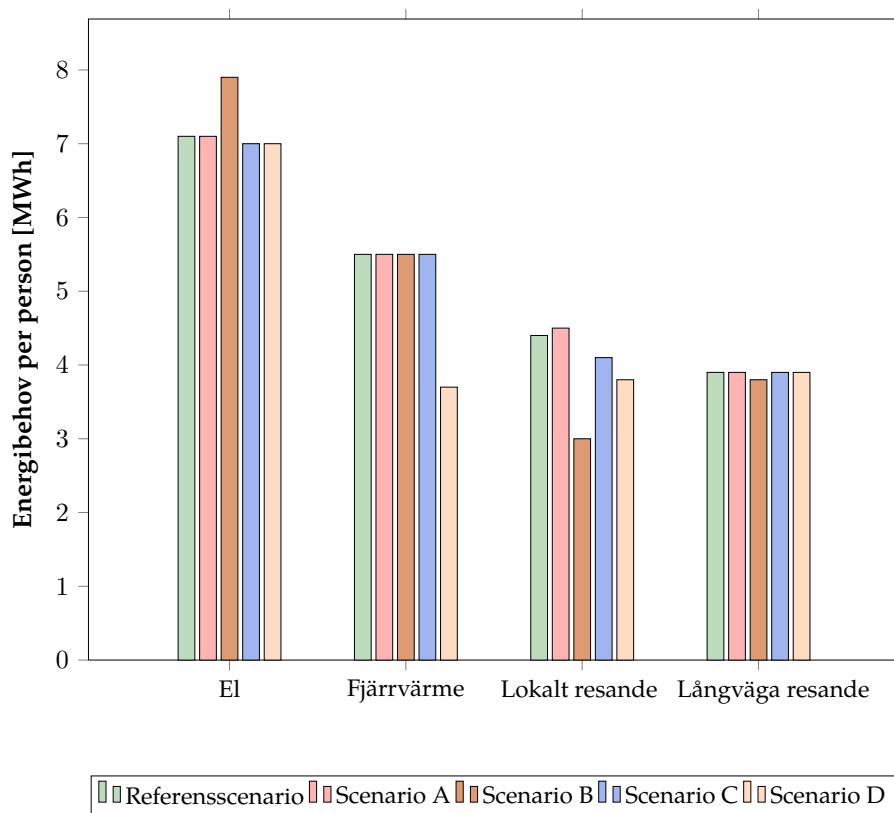
Resultatet av simuleringen presenteras sektorsvis i förhållande till referensfallet för att överskådligt redovisa var i energisystemet bioenergi har störst potential att minska växthusgasutsläppen. Utsläppen har fördelas på posterna transporter, el, fjärrvärme, jordbruk, industri, ickeenergi, ånga och övriga. Transporter har vidare delats in i lokalt resande och långväga resande. Därutöver beskrivs även hur det totala energibehovet förändras i respektive scenario medan endast förändringen inom sektorerna el, fjärrvärme, lokalt och långväga resande redovisas eftersom resterande energibehov förhåller sig såsom i referensscenariot.

### 10.1 Totalt energibehov

Det totala energibehovet i kommunen minskar från dagens ca 26,7 MWh per person och år till ca 22,3 MWh per person och år i referensfallet. Minskningen sker till följd av energieffektiviseringsåtgärder, framförallt inom hushåll samt privat och offentlig sektor där behovet för värme avtar. För transportsektorn minskar energibehovet för persontransporter inom kommungränsen, trots att det totala antalet tillryggalagda fordonskilometer ökar, då motorerna blir allt effektivare i samband med en sparsammare bränsleförbrukning. För långväga resande ökar istället energibehovet vilket får till följd att det totala energibehovet för transportsektorn är i samma storleksordning år 2050 som för basåret.

Energibehovet för scenarierna A, B, C och D samt för marginalet i förhållande till referensscenariot visas i figur 10.1.

## KAPITEL 10. SIMULERING I LEAP



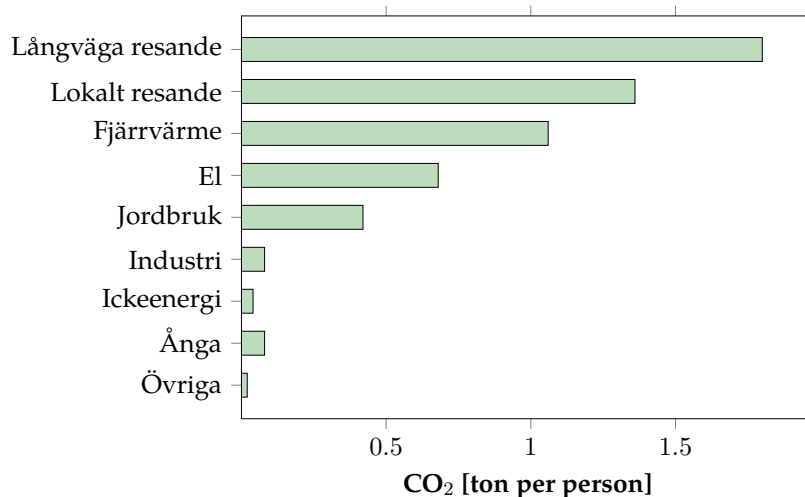
**Figur 10.1.** Energibehov per person för sektorerna el, fjärrvärme, lokalt resande och långväga resande [MWh]

Elbehovet ligger kring 7,1 MWh per person och år i referensfallet samt i scenario A medan behovet stiger i scenario B. I scenario C och D avtar behovet något på grund av att el i transportsektorn har ersatts av biodrivmedel. Totalt produceras 2,6 MWh el per person i kommunen i scenarierna A och B och 0,8 MWh per person i referensscenariot. Energibehovet för fjärrvärme är konstant i samtliga scenarier utom i D då energieffektivisering sker medan produktionen ökar med den ökade elgenereringen i scenario A och B. För lokalt resande ökar energibehovet något i scenario A på grund av att biogas eldas för elgenerering och därmed ersätts av mindre bränslesnåla fossila drivmedel. I scenario B minskar energianvändningen inom transportsektorn på grund av att el ersätter fossil energi. Scenario C och D visar på ett avtagande energibehov för lokalt resande till följd av att biodrivmedel används mer effektivt i förbränningsmotorn varför den totala energianvändningen minskar när andelen biodrivmedel ökar. Inom sektorn långväga resande är skillnaden i totalt energibehov liten mellan de olika scenarierna vilket beror på att sektorn till stor del utgörs av flygtransport som inte har behandlats. I scenario B minskar energianvändningen något i förhållande till referensfallet till följd av en ökad andel el inom busstransporter medan övriga scenarier visar på liten skillnad jämfört

med referensfallet. I scenario B redovisas elanvändningen både inom sektorn el och inom sektorn lokalt resande summan av staplarna i figur 10.1.

## 10.2 Referensscenario 2050

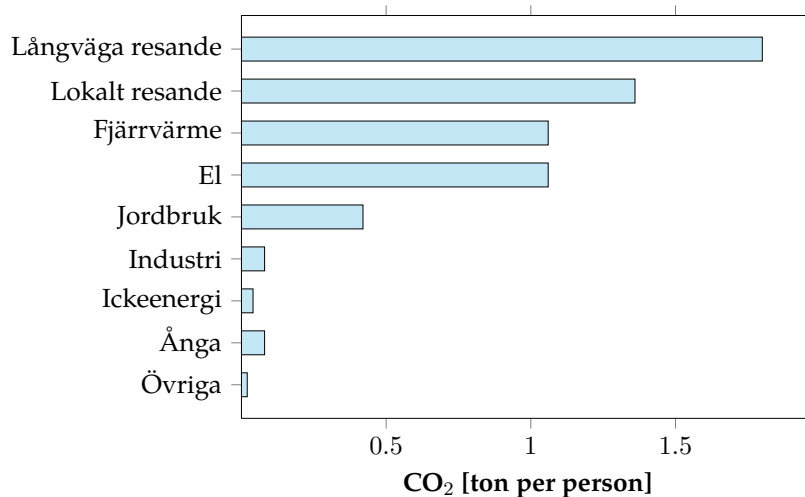
Grundfallet i simuleringen utgår från Referensscenario 2050 där förändringen i klimatutsläpp bygger på resonemanget "business as usual", d.v.s. om inga åtgärder vidtas för att aktivt minska kommunens utsläpp av klimatgaser. I referensscenariot kommer varje invånare i Uppsala kommun år 2050 ge upphov till 5,5 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Fördelningen av växthusgaser per utsläppssektor redovisas i figur 10.2.



**Figur 10.2.** CO<sub>2</sub>-utsläpp i Referensscenario 2050 uppdelat per utsläppskategori [ton CO<sub>2</sub> per person och år

För jordbrukssektorn har både växthusgasutsläpp relaterade till energianvändning och till ickeenergi räknats in varav en övervägande del består av ickeenergi-relaterade utsläpp. Samma sak gäller för industri där över 90% av utsläppen uppkommer i samband med ickeenergi-relaterad verksamhet. I kategorin övriga ingår utsläpp från hushåll, privat- och offentlig sektor, annat samt kyla. Inom långväga resande sker växthusgasutsläpp framförallt i samband med flygtransport (1,6 ton CO<sub>2</sub> per person och år).

Om elen i referensfallet istället är marginalet kommer resultatet att se sig enligt figur 10.3.



**Figur 10.3.** CO<sub>2</sub>-utsläpp i Referensscenario 2050 uppdelat per utsläppskategori om elen är av nordeuropeisk marginalet [ton CO<sub>2</sub> per person och år]

Utsläppen för elproduktion ökar till ca 1,1 ton CO<sub>2</sub> per person och år vilket medför att de totala utsläppen stiger till 5,9 ton CO<sub>2</sub> per person och år.

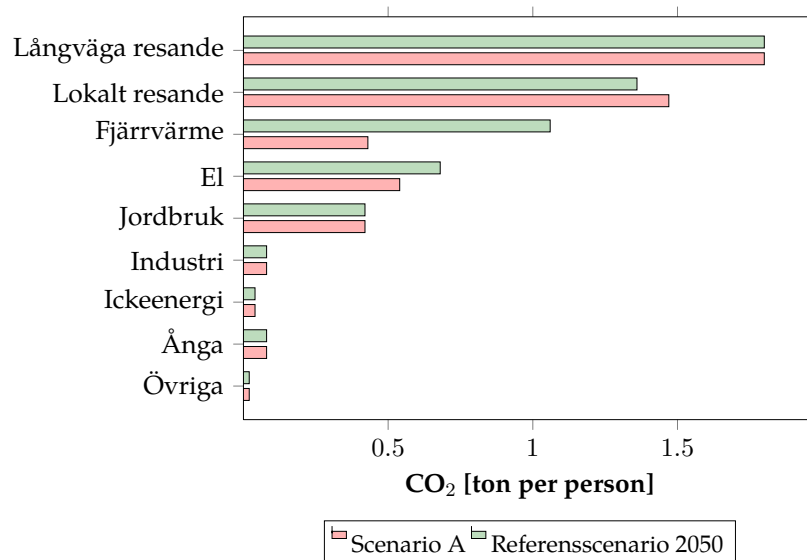
## 10.3 Ökad efterfrågan på el

Om det år 2050 råder ökad efterfrågan på el kommer växthusgasutsläppen att förhålla sig till referensfallet enligt figur 10.4 och 10.5 där utvecklingen har delats in i två olika fall; att den egenproducerade elen ersätter nordisk elmix, scenario A, alternativt att elen ersätter nordisk elmix medan den ökade efterfrågan beror på att en större andel transporter är eldrivna, scenario B. Båda fallen har jämförts med marginalet av nordeuropeisk typ.

### 10.3.1 Scenario A: Elen ersätter nordisk elmix

När den egenproducerade elen ersätter nordisk elmix kommer växthusgasutsläppen att förhålla sig till referensscenariot 2050 enligt figur 10.4.

Utsläppen för lokalt resande ökar jämfört med referensscenariot vilket beror på att den biogas som i referensfallet antas användas inom busstrafiken istället används för el- och värmeproduktion. Utsläppsökningen motsvarar ca 0,1 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år.



**Figur 10.4.** Resultat av scenario A jämfört med referensscenariot 2050 uppdelat per utsläppskategori [ton CO<sub>2</sub> per person]

Växthusgasutsläppen för fjärrvärme minskar eftersom torv fortfarande förekommer som bränsle i referensscenariot. Trots att fjärrvärmeproduktionen ökar minskar de totala utsläppen med ca 0,6 ton per person och år eftersom den emissionsfaktor som använts för biobränsle är betydligt lägre än för torv. Utsläppen som uppkommer i samband med produktion av el minskar av samma anledning med motsvarande 0,1 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per invånare och år.

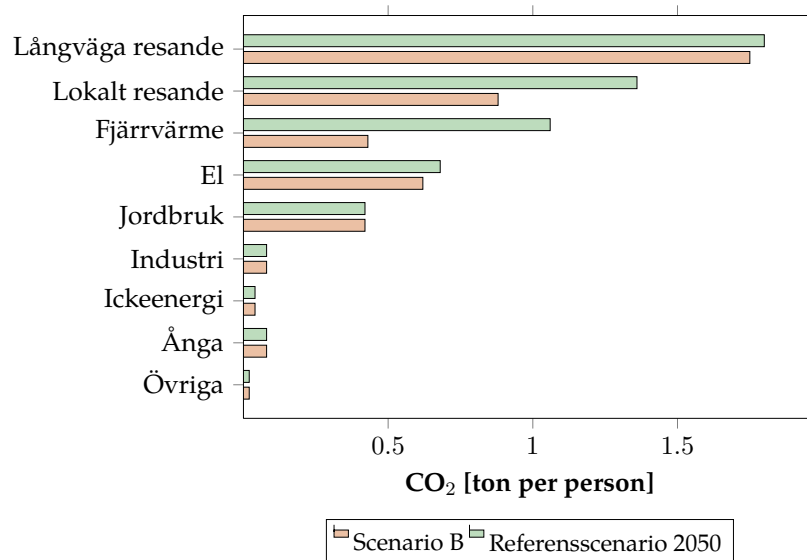
Totalt avtar klimatutsläppen med 0,6 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter jämfört med referensfallet medan utsläppen minskar med 1,0 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år om elen i referensfallet istället antas vara av nordeuropeisk marginalet.

### 10.3.2 Scenario B: Transportsektorn drivs i större utsträckning med el

I figur 10.5 redovisas de totala växthusgasutsläppen för de olika användningsområdena i ton CO<sub>2</sub> per person då den ökade efterfrågan på el beror på att en större del av transportsektorn år 2050 är eldriven. Resultatet jämförs såsom tidigare med referensscenariot.

Växthusgasutsläppen för långväga resande minskar något till följd av att användningen av el inom bussar ökar. För lokalt resande minskar utsläppen ytterli-

gare med ca 0,5 ton CO<sub>2</sub> per person och år. Reduktionen beror på att elen ersätter fossila drivmedel samt att utsläppen allokeras till energiproduktion.



Figur 10.5. Resultat av scenario B jämfört med referensscenariot 2050 uppdelat per utsläppskategori [ton CO<sub>2</sub> per person]

Utsläppen från fjärrvärmeproduktionen avtar såsom utsläppen för elgenerering. För fjärrvärme beror minskningen på att bioenergi och avfall täcker hela värmebehovet jämfört med referensfallet där torv fortfarande eldas. För elproduktionen kommer minskningen istället ske till följd av att emissionsfaktorerna för biobränsle, precis som i föregående fall, är lägre än motsvarande siffra för importerad el av nordisk elmix. Reduktionen är dock inte fullt så stor som i scenario A på grund av att elbehovet ökar (figur 10.1).

Totalt minskar utsläppen med 1,2 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter jämfört med referensfallet och med 1,6 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år om den lokalt producerade elen istället ersätter nordeuropeisk marginalet.

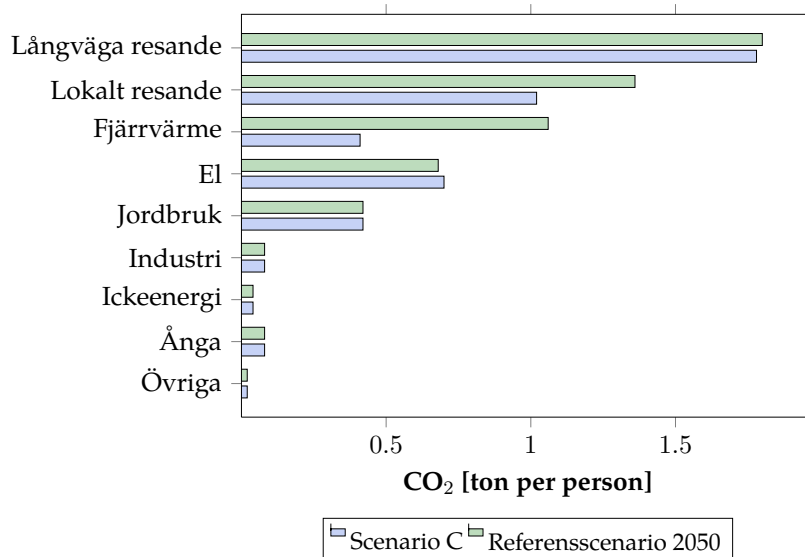
## 10.4 Ökad efterfrågan på biodrivmedel

Om det år 2050 råder en ökad efterfrågan på biodrivmedel kommer den tillgängliga bioenergin att användas för bränsleproduktion. I scenario C eldas biobränsle för fjärrvärmeproduktion. I scenario D frigörs ytterligare bioenergi till drivmedelsproduktion till följd av energieffektiviseringsåtgärder.



### 10.4.1 Scenario C: Bioenergi eldas för fjärrvärme

Hur scenario C förhåller sig till referensscenariot visas i figur 10.6.

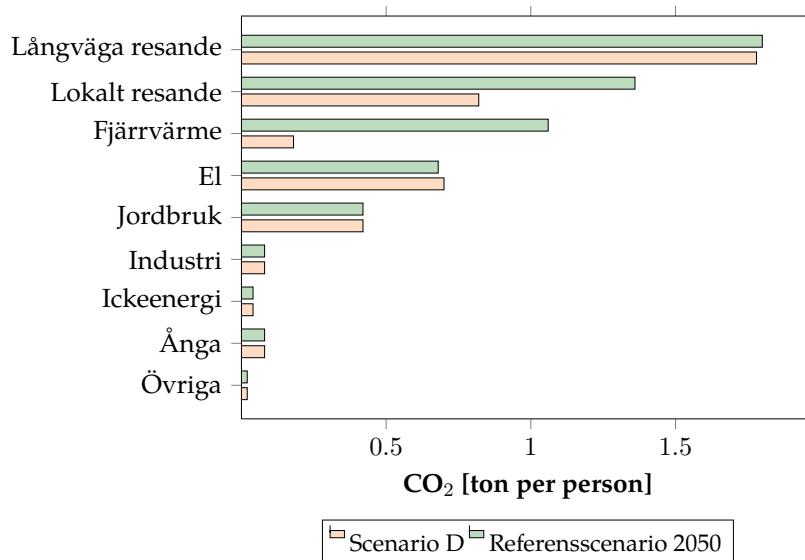


**Figur 10.6.** Resultat av scenario C jämfört med Referensscenario 2050 uppdelat per utsläppskategori [ton CO<sub>2</sub> per person]

För långväga transporter minskar utsläppen marginellt vilket beror på ökad användning av biogas inom busstrafiken medan flyget fortfarande står för en övervägande del av utsläppen. Växthusgasutsläppen som uppstår i samband med lokalt resande minskar med ca 0,4 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år. För fjärrvärmeproduktion minskar utsläppen till följd av att en mindre andel torv eldas i Vattenfalls kraftvärmeverk jämfört med i referensscenariot medan utsläppen vid elproduktion kommer vara något större än i referensfallet eftersom ingen el produceras inom kommunen. I förhållande till referensscenariot är växthusgasutsläppen ca 1,0 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mindre per person och år.

### 10.4.2 Scenario D: Energieffektivisering sker

I scenario D är drivmedelsbehovet så stort att energieffektivisering av byggnader sker för att frigöra bioenergi. Ytterligare 654 GWh används för produktion av drivmedel, motsvarande 44,5% av fjärrvärmebehovet. Resultatet visas i figur 10.7.



**Figur 10.7.** Resultat av scenario D jämfört med Referensscenario 2050 uppdelat per utsläppskategori [ton CO<sub>2</sub> per person]

Liksom scenario C minskar utsläppen för långväga resande något till följd av ökad användning av biogas medan den ökade användningen av biodrivmedel inom lokalt resande innebär en utsläppsreduktion om 0,6 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år. För fjärrvärmeproduktionen minskar CO<sub>2</sub>-utsläppen ytterligare jämfört med scenario C eftersom mindre fjärrvärme produceras. För elproduktion kommer däremot växthusgasutsläppen öka något på grund av att ingen elproduktion sker i Vattenfalls kraftvärmeverk i Boländerna och en större mängd el importeras jämfört med referensfallet. I förhållande till referensfallet minskar utsläppen med 1,4 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år.

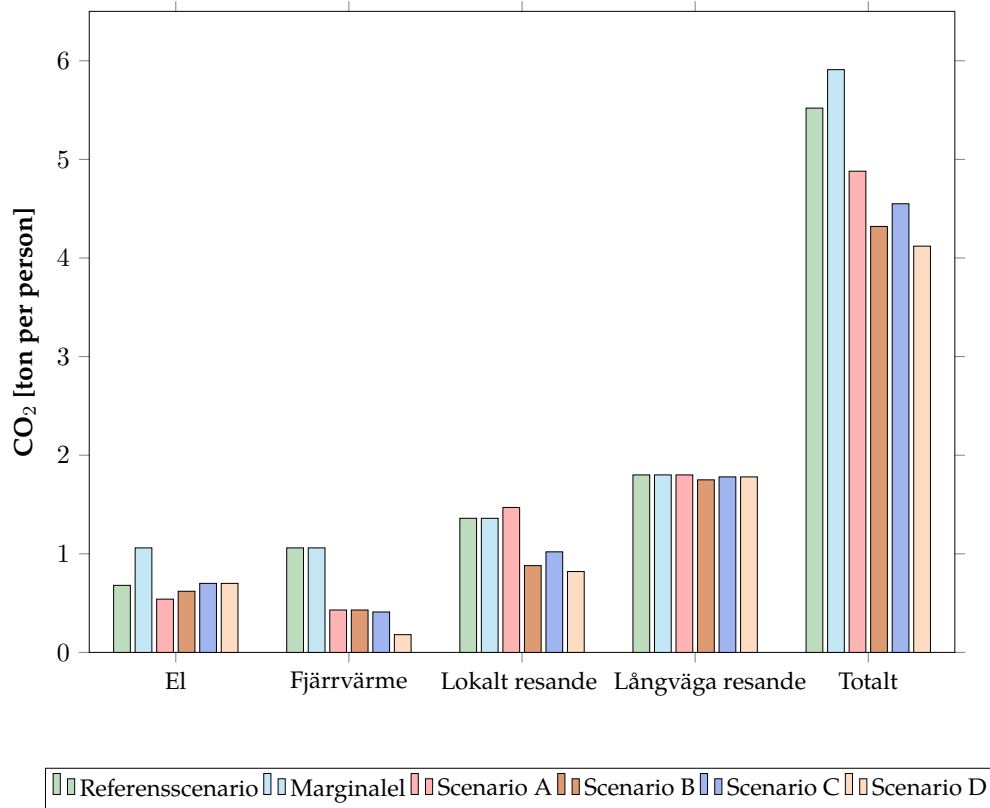
## 10.5 Jämförelse av scenarier

I figur 10.8 presenteras de totala växthusgasutsläppen för samtliga scenarier.

Det scenario som tyder på minst skillnad i växthusgasutsläpp jämfört med referensscenariot är scenario A. Sammanlagt minskar utsläppen med ca 0,6 ton. Utsläppsminskningen beror framför allt på att emissioner i samband med el och fjärrvärmeproduktion minskar. Om elen som ersätts istället antas vara marginalel blir utsläppsminskningen än större, ca 1,0 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år.

Om elen används inom transportsektorn där den i första hand ersätter fossila bränslen (scenario B) blir resultatet att de totala växthusgasutsläppen jämfört med referensfallet minskar med ca 1,2 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år. Eftersom elförsörjningen i transportsektorn har uppskattats med hjälp av potentialstudier skulle dock utsläppsminskningen kunna bli än större. Jämfört med nordeuropeisk

marginalen blir skillnaden istället CO<sub>2</sub>-utsläpp ca 1,6 ton per person och år.



**Figur 10.8.** Jämförelse av resultat för sektorerna el, fjärrvärme, lokalt resande och långväga resande [ton CO<sub>2</sub> per person]

I scenarierna C och D minskar utsläppen med 1,0 respektive 1,4 ton CO<sub>2</sub> per person och år. Både den ersatta torven inom fjärrvärmeproduktion och den ökade användningen av biodrivmedel inom transportsektorn har betydelse för resultatet. I scenario D minskar växthusgasutsläppen ytterligare med minskad fjärrvärmeproduktion utökad andel biodrivmedel inom transporter.

# Kapitel 11

## Diskussion & slutsats

### 11.1 Diskussion

Resultatet visar på minskade utsläpp av växthusgaser med mellan 12 och 25% jämfört med referensfallet beroende på hur bioenergin används i energisystemet samt ytterligare minskning till 27% om elen i referensfallet antas vara marginalel. Kommunens klimatmål om 0,5 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år år 2050 kommer inte, enligt resultatet, att nås endast med hjälp av lokal bioenergi medan en ökad användning av bioenergi i kommunen kan bidra till att nå målet i olika utsträckning beroende på hur bioenergin används i energisystemet samt vilka antaganden som görs gällande samhällsutvecklingen. Resultatet beror på att andra sektorer såsom långväga resande samt ickeenergirelaterade utsläpp som har antagits vara samma som i referensfallet. Dessa utsläpp har dock inte behandlats i studien. Om hänsyn tas till dessa sektorer som inte har ansetts gå att påverka skulle skillnaden i växthusgasutsläpp istället bli större. Beroende på vilka antaganden som görs angående bioenergis tillgänglighet kan en större mängd komma att bli aktuell. Utsläppen skulle då komma att minska ytterligare medan resultatet i studien pekar mot att lokalt/regionalt tillgänglig bioenergi inte ensamt kan möta målet även om det är ett steg i rätt riktning.

Hur mycket bioenergi som i framtiden kan komma att bli aktuellt för uttag och användning i energisammanhang är naturligtvis svårt att avgöra på förhand. Hur stor areal som kommer att finnas tillgänglig, vilka grödor som kan komma att bli aktuella, hur mängden avfall utvecklats etc. kan variera kraftigt i förhållande till de siffror som används i studien. Eftersom bioenergiuttaget av åkergrödor har uppskattats med hjälp av fysisk tillgänglig bioenergi och därmed ingen hänsyn tagits till ekonomiska, ekologiska och sociala faktorer kan den skattade tillgängliga bioenergin från länet att ha överskattats. Dock har studiens fokuserat på den fysiskt tillgängliga mängden bioenergi i enighet med syftet, d.v.s. att undersöka hur den lokal bioenergi kan bidra till att möta klimatmålet 2050. Detta gäller dock inte biobränsle från skog där dessa aspekter tagits hänsyn till. Gällande nedlagd jordbruksmark är underlaget för möjlighet att odla energigrödor bristande på grund av mycket li-

## KAPITEL 11. DISKUSSION & SLUTSATS

ten tillgång på statistik över marken och dess skick samt vilken typ av odling som skulle kunna vara aktuell. Ett fåtal grödor har valts ut i studien medan variationen i verkligheten kan tänkas bli mycket stor. Förädlingspotential och förbättrad odlingsteknik baseras på historiska data medan dessa i framtiden kan komma att variera kraftigt i förhållande till litteraturen.

Gällande brännbart avfall har den totala levererade mängden till Vattenfall för förbränning till fjärrvärme antagits vara lika stor år 2050 som år 2011 liksom den insamlade mängden organiskt avfall. Den största utsläppsreduktionen från avfallssektorn fås genom undvikt avfall och enligt rapporten Model for future waste generation (IVL 2010) kan den årliga avfallsmängden komma att minska exponentiellt med 2% årligen om utvecklingen går mot global hållbarhet. I syfte att sänka växthusgasutsläppen vore det mer fördelaktigt att minska andelen avfall till följd av avfallsförebyggande åtgärder. Dessutom kan emissionsfaktorn tänkas minska till följd av att en mindre andel av avfallet består av plast av fossilt ursprung. Ingen av dessa utvecklingar har behandlats i studien. Att den sammanlagda mängden avfall som levereras år 2050 antas vara samma som för år 2011 kan motiveras med att ingenting tyder på att det i framtiden kommer råda brist på tillgång på avfall samtidigt som fler avfallsförbränningsanläggningar inte spås byggas i länet innan 2050.

Resultatet visar entydigt på lägre växthusgasutsläpp då andelen bioenergi i energimixen ökar. Skillnaden i utsläpp beror givetvis på vad bioenergin år 2050 ersätter samt vilka antaganden som görs gällande möjlig teknikutveckling och odlingsareal för grödor som kan tänkas användas i energiändamål. Antaganden gällande emissionsfaktorer är helt eller delvis avgörande för vilket resultat som erhålls. Eftersom utsläppsfaktorer för biobränsle varierar beroende på avgränsningar, lokala förutsättningar, antaganden gällande allokering, restprodukter etc. ska resultatet tolkas med viss försiktighet. Hur och vilka utsläpp som uppkommer i samband med markanvändning och förändrad markanvändning är svåra att avgöra och beror delvis på lokala förutsättningar som inte har behandlats i studien. Växthusgasutsläpp vid odling och produktion av biobränslen varierar kraftigt. För åkergrödor kan marktyp vara avgörande för vilka och hur stora växthusgasutsläpp som sker. Dock är marktyp svår att förutsäga varför utsläppen kan komma att avvika från verkligheten. Även för primära skogsbränslen är marktyp av betydelse för hur stora utsläppen blir medan ingen hänsyn har tagits till detta (Energimyndigheten 2011). I simuleringen har utsläppsfaktorer från Miljöfaktaboken använts samt från livscykelanalyser med energiallokering som utgångspunkt. Utsläppsfaktorerna är beräknade utifrån värden som sker i samband med förbränning idag och ingen hänsyn har tagits till om dessa kommer att minska eller öka i framtiden. Med effektivare produktionskedjor för biobränsle kan utsläppen tänkas minska. Utsläppsfaktorerna för icke-kommersiella bränslen såsom FT-diesel och etanol från lignocellulosa bygger på enstaka livscykelanalyser och medför därmed en större osäkerhet än mer beprövade bränslen. Dessutom bygger livscykelanalyser till hög grad på vilka avgränsningar och antaganden som görs och ska därför jämföras med viss försiktighet samtidigt som dessa har stor inverkan på resultatet.

Elen som produceras i kommunen har antagits ersätta nordisk elmix medan även marginalet har använts för att jämföra hur resultatet påverkas. Huruvida nordisk elmix eller marginalet används i referensfallet beror på syftet med studien samt vilka antaganden som görs gällande utvecklingen av energisystemet. Utsläppsfaktorn som valts för marginalet år 2050 är betydligt lägre än dagens marginalet (figur 9.1). Skillnaden i utsläpp blir naturligtvis större om marginalet med en högre utsläppsfaktor används.

För att ytterligare säkerställa hur resultatet av de olika scenarierna förhåller sig till varandra skulle en känslighetsanalys behöva genomföras för att på så sätt undersöka olika faktorerers inverkan på resultatet.

Förslag på fortsatt arbete är att vidare studera och diskutera markanvändningens inverkan på de utsläpp som sker i samband med produktion av biomassa eftersom området har behandlats mycket sparsamt. I samband med omställningen till ett mer energieffektivt och koldioxidneutralt samhälle finns även anledning att utreda förändrade levnadsmönster såsom en övergång till en i större utsträckning vegetarisk kost och hur detta skulle påverka tillgången på jordbruksmark samt de växthusgasutsläpp som sker i samband med jordbruket.

### 11.2 Slutsats

Resultatet av examensarbetet visar på att lokalt producerad bioenergi kan komma att minska Uppsala kommuns växthusgasutsläpp med mellan 12 och 25% jämfört med referensscenariot där varje invånare ger upphov till 5,5 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per person och år. Dock skiljer sig utsläppsminskningen åt beroende på hur bioenergin används i kommunens energisystem. Resultatet tyder på att det mest effektiva användningsområdet i syfte att sänka klimatgasutsläppen är att använda bioenergin för att producera drivmedel om det sker i samband med energibesparingsåtgärder för att minska uppvärmningsbehov. Även att producera el är en effektiv metod för att sänka klimatutsläppen om en större andel av transportsektorn är eldriven. Om elen i referensscenariot antas vara av marginalet blir utsläppsminskningen 27%.

Resultatet visar även på goda möjligheter att utvinna betydligt mer bioenergi från länet jämfört med dagsläget. Den största energiutvinningen kan fås från jordbruket som idag står för en mycket liten del av den bioenergi som används i länet. Restprodukter såsom halm kan komma att utgöra en stor del av den ingående energin medan energigrödorna Salix, rörflen och hampa kan odlas på nerlagt jordbruksmark eller trädesareal och på så sätt bidra till energiförsörjningen.

På grund av diverse osäkerheter gällande framtida utveckling av teknik, samhällsstruktur, vilken markareal som kan komma att bli tillgänglig för odling av grödor i energiändamål etc. ska resultatet tolkas med viss försiktighet. Resultatet ska snarare ses som en möjlig utveckling och ett underlag för beslutsfattande under givna förutsättningar än som en prognos över hur utvecklingen kommer att ske.

# Litteraturförteckning

Ahlgren, S., m.fl. 2011. Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel - en kunskapsöversikt. [Elektronisk] rapport nr. 73. Lund: Lunds tekniska högskola. Tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/Indirekt%20förändrad%20markanvändning%20och%20biodrivmedel.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Indirekt%20förändrad%20markanvändning%20och%20biodrivmedel.pdf) [2013-08-28]

Avfall Sverige 2012. Hushållsavfall i siffror - kommun och länsstatistik 2012.

Bergstedt, J., m.fl. u.å. Miljöeffekter vid primärproduktion av biobränsle. [Elektronisk] rapport. Linköping: Linköpings universitet. Tillgänglig: <https://people.ifm.liu.se/lawes/SlutrapportBiobr%E4nsle.pdf> [2013-08-30]

Bergqvist, H., m.fl. 2012. Uppsala 2030. Opublicerad rapport. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Biogas Öst 2012. Utbud och efterfrågan på fordonsgas i Biogas Öst regionen - uppdatering 2012. [Elektronisk] rapport. Tillgänglig: [http://www.biogasost.se/Portals/0/Rapporter/Utbud\\_Efterfragan\\_uppdaterad.pdf](http://www.biogasost.se/Portals/0/Rapporter/Utbud_Efterfragan_uppdaterad.pdf)

Biogas Öst 2013. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.biogasost.se> [2013-03-15]

Bright, M., R., m.fl. 2009. Life Cycle Assessment of Second Generation Bioethanol Produced From Scandinavian Boreal Forest Resources - A Regional Analysis for Middle Norway. [Elektronisk] Journal of Industrial Ecology: Research and analysis, volym 13, nummer 4 (2009) 514-531.

Budsberg, E., m.fl. 2012. Life-Cycle Assessment for the Production of Bioethanol from Willow Biomass Crops via Biochemical Conversion. Forest products journal. Volym 62, upplaga 4, april 2012, sida 305-313.

Byfors, S., m.fl., (2013). Modellering av Uppsala kommuns energisystem och växthusgasutsläpp i LEAP. [Opublicerad] Arbetsrapport. Institutionen för energi och teknik. Uppsala: SLU.

Börjesson, P., m.fl. 1995. Reducing CO<sub>2</sub> emissions by substituting biomass for fossil fuels. [Elektronisk] Lund: Lunds universitet. Tillgänglig: [http://ac.els-cdn.com/036054429500065O/1-s2.0-036054429500065O-main.pdf?\\_tid=5d2aad5ab955-11e2-92ca-00000aab0f27&acdnat=1368178886\\_f48456cdf9ddf86f12f7fa8eb15b253e](http://ac.els-cdn.com/036054429500065O/1-s2.0-036054429500065O-main.pdf?_tid=5d2aad5ab955-11e2-92ca-00000aab0f27&acdnat=1368178886_f48456cdf9ddf86f12f7fa8eb15b253e) [2013-05-10]

Börjesson, P., m.fl. 2003. Miljöanalys av biogassystem. [Elektronisk] rapport 45. Lund: Lunds tekniska högskola, institutionen för teknik och samhälle. Tillgänglig: [http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Miljoanalys-av biogassystem-45.pdf](http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Miljoanalys-av%20biogassystem-45.pdf)

Börjesson, P. 2006. Livscykelanalys av Salixproduktion. [Elektronisk] Rapport nr. 60. Lund: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/LCA%20av%20Salixproduktion-IMES%20Rapport%2060.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/LCA%20av%20Salixproduktion-IMES%20Rapport%2060.pdf) [2013-05-15]

Börjesson, P. 2007. Produktionsförutsättningar för biobränslen inom Svenskt jordbruk. [Elektronisk] Rapport nr 61, Lund: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=604789&fileOId=609151> [2013-05-15]

Börjesson, P. 2008. Hållbara drivmedel - Finns de? [Elektronisk] Rapport 66. Lund: Lunds Universitet. Tillgänglig: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/442.pdf> [2013-05-08]

Börjesson, P. 2010. Livscykelanalys av svenska biodrivmedel [Elektronisk] Rapport nr: 70. Lund: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/Rapport%2070.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Rapport%2070.pdf) [2013-08-26]

Cherubini, F. 2009. Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. Resources, Conservation and Recycling, Volym 8, upplaga 8, juni 2009, s. 434-447.

Edström, M., m.fl. 2004. Producera biogas på gården. [Elektronisk] Rapport i serien JIT informerar, nr 107. Uppsala: JIT. Tillgänglig: <http://www.jti.se/uploads/jti/JTIinfo107.pdf> [2013-08-08]

Egnell, G. 2009. Skogsbränsle. [Elektronisk] Skogsskötselserien nr 17, skogsbränsle. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/Skogsskottelserien/PDF/17-Skogsbransle.pdf> [2013-05-13]

Elforsk u.å. Miljövärdering av el - med fokus på utsläpp av koldioxid. [Elektronisk] faktablad. Stockholm: Elforsk. Tillgänglig: [http://www.elforsk.se/Global/Trycksaker%20och%20broschyrer/miljovardering\\_elanvand.pdf](http://www.elforsk.se/Global/Trycksaker%20och%20broschyrer/miljovardering_elanvand.pdf) [2013-11-07]



Energimyndigheten 2011. Strategisk bioenergianvändning En kunskapssammansättning och syntes av forskningsprojekt finansierade av Energimyndighetens bränsleprogram 2007-2011. [Elektronisk] rapport ER 2011:21. Eskilstuna: Energimyndigheten. Tillgänglig: <http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&id=aa0336b4d74c420eb89b0ade340e756d> [2013-10-07]

Energimyndigheten 2013. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: [https://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/hallbara\\_branslen/Hallbarhetskriterier/Fragor-och-svar-hbk/Vaxthusgasberakning/](https://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/hallbara_branslen/Hallbarhetskriterier/Fragor-och-svar-hbk/Vaxthusgasberakning/) [2013-08-27]

Fazio, S., m.fl. 2011. Life cycle assessment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops. Biomass and Bioenergy. Volym 35, upplaga 12, december 2011, sida 4868–4878.

Gode, J., m.fl. 2011. Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. [Elektronisk] Rapport 1183. Stockholm: Värmeforsk

Gustavsson, M., m.fl. 2010. Energy scenario for Sweden 2050. [Elektronisk] rapport. Stockholm: IVL. Tillgänglig: <http://www.ivl.se/download/18.50a499dd132037d524e80004499/1317113081620/IVL+Energy+Scenario+2050.pdf> [2013-05-21]

Heaps, C. 2008. An introduction to LEAP. [Elektronisk] manual. Tillgänglig: <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=47> [2013-04-28]

Hellstredt, B. 2013. Mailkonversation angående spannmål till Agroetanol.

Hagberg, L., m.fl. 2009. Life cycle assesment of climate impact of Fischer-Tropsch diesel based on peat and biomass. [Elektronisk] Rapport B1833. Stockholm: IVL. Tillgänglig: <http://www.ivl.se/download/18.7df4c4e812d2da6a416800072025/b>

IVA 2002. El och kraftvärme från kol, naturgas och biobränsle. [Elektronisk] rapport. Eskilstuna: IVA. Tillgänglig: <http://www.iva.se/upload/Verksamhet/Projekt/Energiframsyn/KraftIVA.pdf> [2013-05-09]

IVL 2002. Energianvändning i transportsektorn. [Elektronisk] rapport. Stockholm: IVA. Tillgänglig: <http://www.iva.se/upload/Verksamhet/Projekt/Energiframsyn/Transport%20komplett3.pdf> [2013-09-08]

IVL 2005. Biogas som drivmedel för bussar i kollektivtrafik. [Elektronisk] Rapport B1657. Stockholm: IVL. Tillgänglig: <http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Biogas-som-drivmedel-foer-bussar-i-kollektivtrafik-B1657.pdf> [2013-08-08]

IVL 2010. Model for future waste generation. [Elektronisk] Rapport B1933 Stockholm: IVL. Tillgänglig: <http://www.hallbaravfallshantering.se/download/18.4a08c3cb1291c3aa80e8000608/1277198521894/future+waste.pdf> [2013-05-16]

Jonsson, P. 2007. Biodrivmedel - en litteraturöversikt. [Elektronisk] rapport 563. VTI. Tillgänglig: <http://www.vti.se/sv/publikationer/biodrivmedel-en-litteraturoversikt/> [2013-11-13]

Jordbruksverket 2008. Kartläggning av mark som har tagits ut produktion. [Elektronisk] rapport 2008:7. Tillgänglig: [http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_rapporter/ra08\\_7.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra08_7.pdf) [2013-09-04]

Jordbruksverket 2009. Växthusgaser från jordbruket. [Elektronisk] promemoria. Tillgänglig: [http://www.jordbruksverket.se/download/18.2d224fd51239d5ffbf780001529/1252574456845/Vaxthusgaser+fran+jordbruket\\_1.pdf](http://www.jordbruksverket.se/download/18.2d224fd51239d5ffbf780001529/1252574456845/Vaxthusgaser+fran+jordbruket_1.pdf) [2013-09-26]

Jordbruksverket 2011. Förnybara drivmedel från jordbruket. [Elektronisk] Rapport 2011:14. Tillgänglig: [http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_rapporter/ra11\\_14.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra11_14.pdf) [2013-05-09]

Jordbruksverket 2012. Jordbruksstatistisk årsbok 2011 med data om livsmedel. [Elektronisk] rapport. Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: [http://www.jordbruksverket.se/download/18.50fac94e137b680908480004081/1340008886510/JSÅ+2012+Hela\\_1.pdf](http://www.jordbruksverket.se/download/18.50fac94e137b680908480004081/1340008886510/JSÅ+2012+Hela_1.pdf) [2013-11-10]

Jordbruksverket, senast uppdaterad 2013. Odling. [Elektronisk] Hemsida. Tillgänglig: <https://www.jordbruksverket.se/> [2013-09-04]

JRC 2011. Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. [Elektronisk] rapport Version 3c 2011, juli 2011. Luxembourg: JRC. Tillgänglig: [http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw3\\_ttw\\_report\\_eurformat.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw3_ttw_report_eurformat.pdf) [2013-05-06]

Jung, J. 2010. Energikartläggning av avfallsförbränningen i Uppsala. [Elektronisk] rapport. Examensarbete vid Uppsala universitet. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:322499/FULLTEXT01.pdf> [2013-10-08]

Kollektivtrafiknämnden 2012. Regionalt trafikförsörjningsprogram för Uppsala län. Uppsala: Lanstinget i Uppsala.

Larsson m.fl. 2006. Rörflen som energigröda. [Elektronisk] BTK-Rapport 2006:11. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: [http://publikationer.slu.se/Filer/BTK\\_rapport2006\\_11.pdf](http://publikationer.slu.se/Filer/BTK_rapport2006_11.pdf) [2013-05-31]

Larsson 2012. Modellering av Uppsala kommuns energisystem och klimatpåverkan. [Elektronisk] rapport. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: [http://stud.epsilon.slu.se/4190/1/larsson\\_s\\_120510.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/4190/1/larsson_s_120510.pdf) [2013-04-28]

Lassi, U., Wikman, B. 2011. Förgasning av biomassa till värme, elektricitet och biobränslen. [Elektronisk] rapport. Karleby: Jyväskylä universitet. Tillgänglig: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/27059/978-951-39-4315-8.pdf?sequence=1> [2013-05-09]

LiBorrion, A., McManus, M., Hammond, G. 2012. Environmental life cycle assessment of lignocellulosic conversion to ethanol: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012)4638–4650

Linné, M., m.fl. 2008. Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. [Elektronisk] rapport. Lund: BioMil AB i samarbete med Envirum AB.

Lorentz, K. 2012. Teknik för småskalig elproduktion. [Elektronisk] Rapport 33. SWX-Energi. Tillgänglig: [http://www.regiongavleborg.se/download/18.7bd66298134c29e5d6b80004476/Nr\\_33\\_Teknik+för+småskalig+elgenerering.pdf](http://www.regiongavleborg.se/download/18.7bd66298134c29e5d6b80004476/Nr_33_Teknik+för+småskalig+elgenerering.pdf) [2013-09-27]

LRF u.å. Spannmål är vår viktigaste basråvara. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.lrf.se/Mat/Svenska-ravaror/Spannmal/> [2013-09-26]

Lundberg, J. 2011. Metan från förgasning av biobränslen - En potentialstudie i Biogas Östregionen. [Elektronisk] Examensarbete vid Lunds tekniska högskola. Tillgänglig: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/exjobb%20imes%20J%20Lundberg.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/exjobb%20imes%20J%20Lundberg.pdf) [2013-05-09]

Miljöfordon, senast uppdaterad 2013. Så räknar vi. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.miljofordon.se/miljo/sa-raknar-vi-miljopaverkan> [2013-08-07]

Mälarenergi senast uppdaterad 2012. Avfall som bränsle. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.malarenergi.se/om-malarenergi/vara-anlaggningar/kraftvarmeverket/Valkommen-till-fornyelsebloggen/Blogginlagg/Avfall-som-bransle/> [2013-10-01]

Naik, S.N. m.fl. 2009. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 14 (2010), s. 578-597.

Naturvårdsverket 2006. Utsläpp av metan och lustgas från jordbrukssektorn. [Elektronisk] rapport 5506. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5506-2.pdf> [2013-09-26]

Naturvårdsverket 2012a. Underlag till en svensk färdplan för ett Sverige utan klimatsläpp 2050. [Elektronisk] Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 6487). Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6487-7.pdf> [2013-04-28]

Naturvårdsverket 2012b. Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter. [Elektronisk] rapport 6518. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6518-8.pdf> [2013-05-06]

Naturvårdsverket 2012c. Avfall i Sverige 2010. [Elektronisk] Rapport nr. 6520. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6520-1.pdf> [2013-05-15]

Naturvårdsverket 2012d. Hållbar avfallshantering. [Elektronisk] Rapport nr. 6523. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6523-2.pdf> [2013-05-15]

Naturvårdsverket 2012e. De svenska miljömålen - en introduktion. [Elektronisk] faktablad. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8619-0.pdf> [2013-11-10]

Naturvårdsverket 2013a. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Klimatpolitik/> [2013-11-10]

Naturvårdsverket 2013b. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Avfallsforebyggande-program/> [2013-05-16]

Nguyen, T., m.fl. 2013. Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark. *Applied Energy*. Volym 104, april 2013, s. 633-641.

Nilsson, P. 1999. Skogliga konsekvensanalyser. Skogsskötsel vid 90-talets mitt. [Elektronisk] Arbetsrapport 56. Umeå: SLU. Tillgänglig: [http://pub.epsilon.slu.se/8807/1/nilsson\\_et\\_al\\_120410.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/8807/1/nilsson_et_al_120410.pdf) [2013-10-16]

Nyström, I. m.fl. 2007. Biokombi Rya - Bränsleförgasning satt i system. [Elektronisk] rapport CEC 2007:2. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola. Tillgänglig: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/65624.pdf> [2013-05-08]

Profu 2010. Avfall ur ett systemperspektiv. [Elektronisk] rapport. Tillgänglig: [http://www.profu.se/pdf/Profu2010Avfallsminimering\\_slutlig.pdf](http://www.profu.se/pdf/Profu2010Avfallsminimering_slutlig.pdf) [2013-05-16]

Regeringen 2012. Fossiloberoende fordonsflotta - ett steg på vägen mot nettoutsläpp av växthusgaser. Hemsida, tillgänglig: [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se) [2013-09-08]

Roos, A., m.fl. 2010. A geographical analysis of the Swedish Woodfuel market. [Elektronisk] Publicerad i Scandinavian Journal of Forest Research. Tillgänglig: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02827580050160547> [2013-05-10]

Röös, E., m.fl. 2011. Uncertainties in the carbon footprint of refined wheat products: a case study on Swedish pasta. Int J Life Cycle Assess. Volym 16, mars 2011, s. 338–350

SCB 2008. Markanvändningen i Sverige. [Elektronisk] rapport. Femte upplagan. Örebro: SCB. Tillgänglig: [http://www.scb.se/statistik/\\_publikationer/MI0803\\_2005A01\\_BR\\_MI03BR0801.pdf](http://www.scb.se/statistik/_publikationer/MI0803_2005A01_BR_MI03BR0801.pdf) [2013-10-08]

SCB 2010. Tabeller över Sveriges befolkning 2009. [Elektronisk] rapport. Tillgänglig: [http://www.scb.se/statistik/\\_publikationer/BE0101\\_2009A01\\_BR\\_BE0110TAB.pdf](http://www.scb.se/statistik/_publikationer/BE0101_2009A01_BR_BE0110TAB.pdf)

SCB 2012. Normalskördar för skördeområden, län och riket 2012. [Elektronisk] rapport JO 15 SM 1201. Tillgänglig: [http://www.scb.se/statistik/JO/JO0602/2012A01/JO0602\\_2012A01\\_SM\\_JO15SM1201.pdf](http://www.scb.se/statistik/JO/JO0602/2012A01/JO0602_2012A01_SM_JO15SM1201.pdf) [2013-09-30]

SCB 2013a. Energidata (MWh) efter län och kommun, kategori samt energityp. År 1990 - 2008. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: [http://www.scb.se/Pages/SSD/SSD\\_SelectVariables\\_\\_\\_340487.aspx?px\\_tableid=ssd\\_extern%3aEnergiKommKat&rxid=59de51c7-1121-42ff-8b8d-617e5c3c36aa](http://www.scb.se/Pages/SSD/SSD_SelectVariables___340487.aspx?px_tableid=ssd_extern%3aEnergiKommKat&rxid=59de51c7-1121-42ff-8b8d-617e5c3c36aa) [2013-11-10]

SCB 2013b. Jordbruksstatistisk årsbok 2013 med data om livsmedel. [Elektronisk] rapport. Stockholm: CSB. Tillgänglig: [http://www.scb.se/statistik/\\_publikationer/JO1901\\_2012A01\\_BR\\_00\\_JO01BR1301.pdf](http://www.scb.se/statistik/_publikationer/JO1901_2012A01_BR_00_JO01BR1301.pdf) [2013-11-10]

Skogforsk, senast uppdaterad 2012. Skogsbränsle är en av flera bioenergikällor. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Energi-fran-skog/Biobransle—vad-ar-det1/> [2013-10-21]

Skogsstyrelsen 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008. [Elektronisk] Rapport 25. Tillgänglig: <http://shop.textalk.se/shop/9098/art66/4646166-79b6f0-1812.pdf> [2013-05-13]

Skogsstyrelsen 2012. Skogsstatistisk årsbok 2012. [Elektronisk] rapport. Jönköping: Skogsstyrelsen. Tillgänglig: [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20årsbok/01%20Hela%202012%20-%20Entire%202012/Skogsstatistisk%20årsbok%202012%20\(hela\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20årsbok/01%20Hela%202012%20-%20Entire%202012/Skogsstatistisk%20årsbok%202012%20(hela).pdf) [2013-10-08]

Sköldeberg, H. 2006. Marginalel och miljövänlig el. Elforsks rapport 06:52. Stockholm: Elforsk.

Sköldberg, H., m.fl. 2010. Ett fossilbränsleoberoende transportsystem år 2030. [Elektronisk] rapport 10:55. Stockholm: Elforsk. Tillgänglig: [http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=10\\_55\\_](http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=10_55_) [2013-09-30]

SLU 2008. Energiproduktion från rörflen - Handbok för el- och värmeproduktion. [Elektronisk] Rapport. Umeå: SLU. Tillgänglig: <http://hs-nord.hush.se/attachments/70/2839.pdf> [2013-08-01]

SOU 2000. Utsläpp och växthusgaser i Sverige och i omvärlden. [Elektronisk] Rapport 2000:23. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/content/1/c4/26/33/d36a4221.pdf> [2013-06-16]

SOU 2005. Fjärrvärme och kraftvärme i framtiden. [Elektronisk] Rapport 2005:33. Stockholm: SOU. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/04/28/30/abae4a60.pdf> [2013-06-08]

SOU 2007. Bioenergi från jordbruket - en växande resurs. [Elektronisk] rapport 2007:36. Stockholm: SOU. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/19/74/1c5245b7.pdf> [2013-05-03]

Sundberg, C., m.fl. 2011. Lönsamhet för småskalig biobränslebaserad kraftvärme - förutsättningar och framtidsutsikter. [Elektronisk] Rapport 033. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: [http://pub.epsilon.slu.se/8479/1/sundberg\\_c\\_etal\\_111212.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/8479/1/sundberg_c_etal_111212.pdf) [2013-05-08]

Svensk energi 2011. Laddinfrastruktur för elfordon. [Elektronisk] rapport. Tillgänglig: [http://www.vattenfall.com/en/file/laddningsinfrastruktur\\_elfordon\\_16569641.pdf](http://www.vattenfall.com/en/file/laddningsinfrastruktur_elfordon_16569641.pdf) [2013-09-08]

Svensk Fjärrvärme 2008. Effektiv produktion av biodrivmedel. [Elektronisk] Rapport 2008:8. Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJÄRRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20omvärld/2008/Effektiv%20produktion%20av%20biodrivmedel.pdf> [2013-05-08]

Timilsina, GR. 2013. Biofuels and Climate Change Mitigation: A CGE Analysis Incorporating Land-Use Change. Environmental and Resource Economics. Volym 55, upplaga 1, maj 2013, sida 1-19.

Ulff D. 2005. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosa-baserade råvaror - ekologisk gård självförsörjande med drivmedel. Examensarbete

2005:5. Institutionen för biometri och teknik. Uppsala: SLU.

Uppsala kommun, senast uppdaterad 2012. Uppsalas klimatpåverkan. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.uppsala.se/sv/Boendemiljotrafik/Miljo-halsa/> [2013-09-26]

Vattenfall Värme Uppsala 2011. Säkerhet, hälsa och miljö 2011. [Elektronisk] Uppsala: Vattenfall Värme. Tillgänglig: [http://www.vattenfall.se/sv/file/Milj\\_redovisningUppsala-2011.pdf\\_13795250.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/Milj_redovisningUppsala-2011.pdf_13795250.pdf) [2013-04-28]

Vattenfall Värme Uppsala 2012. Varmt och skönt med fjärrvärme. [Elektronisk] faktablad. Uppsala: Vattenfall. Tillgänglig: [http://www.vattenfall.se/sv/file/Faktablad\\_Uppsala.pdf\\_23917212.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/Faktablad_Uppsala.pdf_23917212.pdf) [2013-04-28]

Vattenfall 2013. Så fungerar ett kondenskraftverk. [Elektronisk] hemsida. Tillgänglig: <http://www.vattenfall.se/sv/sa-produceras-el-kondenskra.htm> [2013-05-08]

VTI 2011. Andra generationens drivmedel - en litteraturöversikt. [Elektronisk] rapport. Tillgänglig: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/andra-generationens-biodrivmedel-en-litteraturoversikt.pdf> [2013-05-10]

Zetterberg, L., m.fl. 2008. Svenska skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser. [Elektronisk] rapport B1774. Stockholm: IVL. Tillgänglig: <http://www.ivl.se/webdav/files/B-rapporter/B1774.pdf> [2013-11-10]

## Bilaga A

# Kvantiteter bioenergi för värme- och elproduktion respektive för produktion av biodrivmedel i de olika scenarierna

De kvantiteter som använts i simuleringen presenteras i i tabell A1 & A2 och är tillsammans med det tillgängliga avfallet den mängd bioenergi som har uppskattats finnas tillgänglig år 2050.

**Tabell A.1.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig biobränsle från jordbruket för Uppsala län och kommun samt odlingsareal

|  | Areal<br>(ha) | Uppsala<br>Län | Uppsala<br>Kommun |
|--|---------------|----------------|-------------------|
| Avsatt areal för energiskog                  | 2 016         | 98 GWh         | 58 GWh            |
| Energigrödor på trädesareal                  | 16 500        | 644 GWh        | 378 GWh           |
| Export av spannmål                           | 1 794         | 44 GWh         | 26 GWh            |
| Förädlingspotential/förbättrad odlingsteknik | -             | 341 GWh        | 200 GWh           |
| Restprodukter                                |               |                |                   |
| Biogas av gödsel och odlingsrester           | -             | 513 GWh        | 301 GWh           |
| Varav halm                                   | -             | 408 GWh        | 239 GWh           |
| Halm   | -             | 1 701 GWh      | 998 GWh           |
| Energigrödor på nedlagd åkermark             | 5 100         | 201 GWh        | 118 GWh           |
| TOTALT                                       | 25 410        |                |                   |

De energier och effekter presenteras under respektive rubrik. Förädlingspotentialen har lagts på respektive gröda. Avfallsmängden är beräknad genom att snitta avfallsmängden per person



BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

**Tabell A.2.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig primärt skogsbränsle i Uppsala kommun [GWh] år 2050 med restriktioner, fritt från Egnell (2009)

|         | första gallring | övrig gallring | Föryngringspotential | Totalt |
|---------|-----------------|----------------|----------------------|--------|
| GROT    | 23              | 92             | 215                  | 330    |
| Stubbar | 23              | 92             | 215                  | 330    |

## Ökad efterfrågan på el

I tabell A.3 visas de kvantiteter med och utan förbättringspotentialen om 2% per år i 15 år.

**Tabell A.3.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig biobränsle från jordbruket med och utan förbättringspotential om 2% årligen i 15 år för Uppsala kommun

|   |       |           |
|---|-------|-----------|
| Avsatt areal för energiskog                   | 58    | 77 GWh    |
| Energigrödor på nuvarande trädesareal         | 378   | 510 GWh   |
| Areal som idag används för export av spannmål | 26    | 35 GWh    |
| Biogas av gödsel och odlingsrester            | 62    | 62 GWh    |
| Halm  | 998   | 998 GWh   |
| Nedlagd åkermark                              | 118   | 160 GWh   |
| TOTALT från jordbruket                        | 1 640 | 1 840 GWh |
| GROT  | 330   | 330 GWh   |
| Stubbar                                       | 330   | 330 GWh   |
| Brännbart avfall                              | 850   | 850 GWh   |
| Organiskt avfall                              | 16    | 16 GWh    |
| Slam  | 12    | 12 GWh    |
| TOTALT  | 3 172 | 3 380 GWh |

Avfallsmängden är beräknad genom att ta den genomsnittliga siffran för brännbart avfall per person för respektive kommun och multiplicera denna med kommunens invånarantal enligt tabell A.4.

**Tabell A.4.** Käril- och säckavfall till förbränning fördelat på kommun i Uppsala län (kg/person) (Avfall Sverige 2012), antal invånare i respektive kommun (SCB 2013) samt total mängd avfall (ton/kommun)

| Enköping | Heby   | Håby   | Knivsta | Tierp  | Uppsala | Österåker | Älvkarleby |
|----------|--------|--------|---------|--------|---------|-----------|------------|
| 164      | 167    | 224    | 153     | -      | 174     | 194       | 179        |
| 40 349   | 13 364 | 19 883 | 15 273  | 20 156 | 202 625 | 9 059     | 21 262     |
| 6 617    | 2 232  | 4 454  | 2 337   | 3 615  | 35 257  | 4 125     | 1 625      |

För industriavfall saknas statistik men antagande om att hälften kommer från

BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

industriavfall har gjorts (Karlsson 2013). Med ett energiinnehåll om 3,5 MWh per ton fås totalt 211 GWh från brännbart avfall. Dessutom tillkommer en lika stor mängd energi från industriavfall i länet vilket medför att totalt 422 GWh brännbart kärnavfall genereras i länet.

I tabell A.5 presenteras även vilken typ av gröda som används i respektive teknik samt ingående energier.

**Tabell A.5.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig biobränsle från Uppsala län som kan användas i Uppsala kommun när bioenergin används till att täcka upp för en ökad efterfrågan på el

|   |           |
|---|-----------|
| Avsatt areal för energiskog                   | 77 GWh    |
| varav Salix                                   | 77 GWh    |
| Energigrödor på nuvarande trädesareal         | 510 GWh   |
| varav Salix                                   | 170 GWh   |
| varav rörflen                                 | 170 GWh   |
| varav hampa                                   | 170 GWh   |
| Areal som idag används för export av spannmål | 35 GWh    |
| Biogas av gödsel och odlingsrester            | 62 GWh    |
| Halm  | 998 GWh   |
| Nedlagd åkermark                              | 160 GWh   |
| varav Salix                                   | 80 GWh    |
| varav rörflen                                 | 80 GWh    |
| TOTALT från jordbruket                        | 1 842 GWh |
| GROT  | 330 GWh   |
| Stubbar                                       | 330 GWh   |
| Brännbart avfall                              | 850 GWh   |
| Organiskt avfall                              | 16 GWh    |
| Slam  | 12 GWh    |
| TOTALT  | 3 380 GWh |

BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

Var i energisystemet respektive bioenergislager används tillsammans med energisystemets effekter redovisas i tabell A.6.

**Tabell A.6.** Var i energisystemet den insatta bioenergin används samt respektive tekniks effekt och substrat

|                            |           |         |
|----------------------------|-----------|---------|
| Avfallspanna               | 1 118 GWh | 128 MW  |
| varav brännbart avfall     | 850 GWh   | 76%     |
| Fast biobränslen från skog | 268 GWh   | 24%     |
| Vattenfalls VVS            | 1 018 GWh | 116 MW  |
| Fast biobränsle från skog  | 392 GWh   | 38%     |
| Halm                       | 322 GWh   | 32%     |
| Salix                      | 304 GWh   | 30%     |
| Storvreta                  | 22,8 GWh  | 2,60 MW |
| Salix                      | 22,8 GWh  | 100%    |
| ORC-motor                  | 420 GWh   | 48 MW   |
| Rörflen                    | 250 GWh   | 60%     |
| Hampa                      | 170 GWh   | 40%     |
| Stirlingmotor              | 711 GWh   | 81 MW   |
| Halm                       | 676 GWh   | 95%     |
| Spannmål                   | 35 GWh    | 5%      |
| Gasmotor                   | 90 GWh    | 10 MW   |
| Organiskt avfall           | 16 GWh    | 18%     |
| Slam                       | 12 GWh    | 13%     |
| Gödsel och odlingsrester   | 62 GWh    | 69%     |

I scenariot Ökad efterfrågan på el kommer den insatta bioenergin vara samma för båda delscenarierna. Fjärrvärmeproduktionen fördelas enligt tabell A.7.

**Tabell A.7.** Insatt energi, effekt och andel av den totala produktionen fjärrvärme

| Anläggning          | Energi    | Effekt  |
|---------------------|-----------|---------|
| Avfallspanna        | 1 118 GWh | 112 MW  |
| Storvreta           | 22,8 GWh  | 2,60 MW |
| Vattenfalls VVS     | 1 018 GWh | 49 MW   |
| ORC-motor           | 420 GWh   | 9 MW    |
| Stirlingmotor       | 711 GWh   | 24 MW   |
| Gasmotor            | 90 GWh    | 5 MW    |
| Total insatt energi | 3 380 GWh | 202 MW  |

BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

## Ökad efterfrågan på biodrivmedel

För biodrivmedel fördelar sig den tillgängliga bioenergin istället enligt tabell A.8.

**Tabell A.8.** Uppskattade värden på maximalt tillgänglig biobränsle från Uppsala län när den används till att täcka upp för en ökad efterfrågan på biodrivmedel

|   |           |
|---|-----------|
| Avsatt areal för energiskog                   | 77 GWh    |
| varav Salix                                   | 77 GWh    |
| Energigrödor på nuvarande trädesareal         | 510 GWh   |
| varav Salix                                   | 170 GWh   |
| varav rörflen                                 | 170 GWh   |
| varav hampa                                   | 170 GWh   |
| Areal som idag används för export av spannmål | 35 GWh    |
| Biogas av gödsel, halm & odlingsrester        | 301 GWh   |
| varav halm                                    | 239 GWh   |
| varav gödsel                                  | 57 GWh    |
| varav vall                                    | 5 GWh     |
| Nedlagd åkermark                              | 160 GWh   |
| varav Salix                                   | 80 GWh    |
| varav rörflen                                 | 80 GWh    |
| TOTALT från jordbruket                        | 1 083 GWh |
| GROT  | 330 GWh   |
| Stubbar                                       | 330 GWh   |
| Brännbart avfall                              | 850 GWh   |
| Organiskt avfall                              | 16 GWh    |
| Slam  | 12 GWh    |
| TOTALT  | 2 621 GWh |

## Bioenergi eldas för fjärrvärme

I scenario C används bioenergi för produktion av fjärrvärme enligt tabell A.9 samt produktion av FT-diesel och bioetanol.

BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

**Tabell A.9.** Insatt energi för fjärrvärmeproduktion respektive drivmedelsproduktion i scenariot ökad efterfrågan på biodrivmedel då biobränsle eldas tillsammans med avfall för fjärrvärmeproduktion

|                             |           |         |
|-----------------------------|-----------|---------|
| Avfallspanna                | 1 504 GWh | 195 MW  |
| varav brännbart avfall      | 850 GWh   | 56%     |
| Fast biobränslen från skog  | 654 GWh   | 44%     |
| Storvreta                   | 22,8 GWh  | 2,60 MW |
| Salix                       | 22,8 GWh  | 100%    |
| FT-diesel                   | 560 GWh   |         |
| Fasta biobränslen från skog | 6 GWh     |         |
| Salix                       | 304 GWh   |         |
| Rörflen                     | 250 GWh   |         |
| Utbyte                      |           | 45%     |
| Distribuerad FT-diesel      |           | 252 GWh |
| Etanol                      | 205 GWh   |         |
| Spannmål                    | 35 GWh    |         |
| Hampa                       | 170 GWh   |         |
| Utbyte                      |           | 34%     |
| Distribuerad bioetanol      |           | 70 GWh  |
| Biogas                      |           | 329 GWh |

### Energieffektivisering sker

Om den energi som Vattenfall idag levererar som fjärrvärme istället antas minska till följd av energieffektiviseringsåtgärder kommer energin i kommunen att användas enligt tabell A.10.

BILAGA A. KVANTITETER BIOENERGI FÖR VÄRME- OCH ELPRODUKTION  
RESPEKTIVE FÖR PRODUKTION AV BIODRIVMEDEL I DE OLIKA SCENARIERNA

**Tabell A.10.** Insatt energi för fjärrvärmeproduktion respektive drivmedelsproduktion i scenariot ökad efterfrågan på biodrivmedel då energieffektivisering av värmebehovet sker

|                           |          |         |
|---------------------------|----------|---------|
| Avfallspanna              | 850 GWh  | 97 MW   |
| varav brännbart avfall    | 850 GWh  | 100%    |
| Storvreta                 | 22,8 GWh | 2,60 MW |
| Fast biobränsle från skog | 22,8 GWh | 100%    |
| FT-diesel                 | 801 GWh  |         |
| Fast biobränsle från skog | 637 GWh  |         |
| Salix                     | 164 GWh  |         |
| Utbyte                    |          | 45%     |
| Distribuerad FT-diesel    |          | 360 GWh |
| Etanol                    | 619 GWh  |         |
| Salix                     | 164 GWh  |         |
| Spannmål                  | 35 GWh   |         |
| Rörflen                   | 250 GWh  |         |
| Hampa                     | 170 GWh  |         |
| Utbyte                    |          | 34%     |
| Distribuerad bioetanol    |          | 210 GWh |
| Biogas                    |          | 329 GWh |

## Bilaga B

# Beräkning av drivmedel

Andel av transportbehov som kan ersättas med biodrivmedel har beräknats med hjälp av energiinnehåll i respektive drivmedel, normal förbrukning samt total energi. För eltransporter har direkta andelar istället använts.

FT-diesel i första hand inom frakttransport medan bioetanol används inom personbilstransporter. Biogas antas i första hand användas inom busstrafik men även inom personbilstransporter. På grund av två olika scenarier täcker FT-dieseln olika stor del av transportererna såsom bioetanol.

## Bioetanol

Bioetanol kan försörja personbilsflottans drivmedelbehov enligt tabell B.1 & B.2. I det första fallet är biodrivmedelsproduktionen kombinerad med fjärrvärmeproduktion. I det andra fallet finns en större mängd biobränsle att tillgå till följd av energieffektiviseringsåtgärder.

**Tabell B.1.** Energiåtgång av bioetanol för personbilar samt hur stor del av fordonssektorn som kan försörjas med hjälp av bioetanol

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Energiinnehåll                               | 6,51 kWh/l            |
| Bränsleförbrukning                           | 0,0694 l/km           |
| Energi                                       | 70 GWh                |
| Antal förbrukade liter                       | 15,1·10 <sup>6</sup>  |
| Antal kilometer som täcks av bioetanol       | 216,8·10 <sup>6</sup> |
| Antal fordonskilometer för personbilsflottan | 1 869·10 <sup>6</sup> |
| Andel transporter som täcks av bioetanol     | 8%                    |

## BILAGA B. BERÄKNING AV DRIVMEDEL

**Tabell B.2.** Energiåtgång av bioetanol för personbilar samt hur stor del av fordonssektorn som kan försörjas med hjälp av bioetanol

|  |                     |
|--|---------------------|
| Energiinnehåll                               | 6,51 kWh/l          |
| Bränsleförbrukning                           | 0,0694 l/km         |
| Energi                                       | 210 GWh             |
| Antal förbrukade liter                       | $45,6 \cdot 10^6$   |
| Antal kilometer som täcks av bioetanol       | $657 \cdot 10^6$    |
| Antal fordonskilometer för personbilsflottan | $1\,869 \cdot 10^6$ |
| Andel transporter som täcks av bioetanol     | 25%                 |

## Biogas

Biogas ersätter i första hand det fossila drivmedelbehovet för busstransporter enligt tabell B.3.

**Tabell B.3.** Energiåtgång av bioetanol för personbilar samt hur stor del av fordonssektorn som kan försörjas med hjälp av bioetanol

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Total tillgänglig energi        | 329 GWh                  |
| Energiinnehåll                  | 9,77 kWh/m <sup>3</sup>  |
| Bränsleförbrukning              | 0,469 m <sup>3</sup> /km |
| Antal förbrukade m <sup>3</sup> | $58,2 \cdot 10^6$        |
| Antal kilometer                 | $31,2 \cdot 10^6$        |
| Förbrukad energi                | 143 GWh                  |
| Kvarvarande energi              | 186 GWh                  |

Långväga busstransporter använder biogasen enligt tabell B.4.



## BILAGA B. BERÄKNING AV DRIVMEDEL

**Tabell B.4.** Energiåtgång av biogas för långväga busstrafik

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| Total tillgänglig energi | 186 GWh                  |
| Energiinnehåll           | 9,77 kWh/m <sup>3</sup>  |
| Bränsleförbrukning       | 0,469 m <sup>3</sup> /km |
| Antal kilometer          | 4,4·10 <sup>6</sup>      |
| Förbrukad mängd bränsle  | 20 GWh                   |
| Kvarvarande energi       | 166 GWh                  |

Kvarvarande 166 GWh antas användas inom personbilsflottan år 2050 enligt tabell B.5.

**Tabell B.5.** Användning av biogas i personbilsflottan

|                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Total tillgänglig energi             | 166 GWh                   |
| Energiinnehåll                       | 9,77 kWh/m <sup>3</sup>   |
| Bränsleförbrukning                   | 0,0574 m <sup>3</sup> /km |
| Antal kilometer                      | 296·10 <sup>6</sup>       |
| Förbrukad mängd bränsle              | 166 GWh                   |
| Andel av det totala transportbehovet | 16%                       |

Eftersom biogasproduktionen är samma i de båda varianterna av scenariot kommer samma siffror gälla i båda fallen. Biogas antas för personbilar ersätta bensin och fossil diesel, 8% vardera i fallet där bioenergi fortfarande eldas för fjärrvärme och endast diesel i fallet där energieffektivisering sker.

## FT-Diesel

### I kombination med fjärrvärme

Den tillgängliga FT-dieseln antas användas för transport med lätt och tung lastbil. 100% av transporterna antas drivas med FT-diesel enligt tabell B.6 och B.7. FT-dieseln antas ersätta fossil diesel men även bensin och en liten andel biogas i referensfallet.

## BILAGA B. BERÄKNING AV DRIVMEDEL

**Tabell B.6.** Energiåtgång av FT-diesel för lätta lastbilar

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Total tillgänglig energi                             | 252 GWh                 |
| Antal fordonskilometer för lätta lastbilstransporter | $143 \cdot 10^6$        |
| Energiinnehåll                                       | 9,17 kWh/l              |
| Bränsleförbrukning                                   | 0,086 l/km              |
| Antal förbrukade liter                               | $12,3 \cdot 10^6$ liter |
| Energi   | 113 GWh                 |
| Kvarvarande energi                                   | 139 GWh                 |

För tunga lastbilar täcks 100% av behovet enligt tabell B.7.

**Tabell B.7.** Energiåtgång av FT-diesel för tunga lastbilar

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Total tillgänglig energi                             | 139 GWh                 |
| Antal fordonskilometer för tunga lastbilstransporter | $53,9 \cdot 10^6$       |
| Energiinnehåll                                       | 9,17 kWh/l              |
| Bränsleförbrukning                                   | 0,2752 l/km             |
| Antal förbrukade liter                               | $14,8 \cdot 10^6$ liter |
| Förbrukad energi                                     | 136 GWh                 |
| Kvarvarande energi                                   | 3 GWh                   |

Resterande 3 GWh FT-diesel används inom personbilsflottande enligt tabell B.8.

**Tabell B.8.** Energiåtgång av FT-diesel för personbil

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Total tillgänglig energi                         | 3 GWh                   |
| Antal fordonskilometer för personbilstransporter | $1,87 \cdot 10^9$       |
| Energiinnehåll                                   | 9,17 kWh/l              |
| Bränsleförbrukning                               | 0,04556 l/km            |
| Antal förbrukade liter                           | $0,33 \cdot 10^6$ liter |
| Energi   | 3 GWh                   |
| Andel av det totala antalet fordonskm            | 0,4%                    |

## BILAGA B. BERÄKNING AV DRIVMEDEL

### I kombination med energieffektivisering

När energieffektivisering sker kommer ytterligare biodrivmedel i form av FT-diesel produceras som används inom personbilstrafiken. Istället för de 252 GWh som producerades i förgående fall kommer hela 360 GWh tillverkas. Efter att fraktrafiken är försedd med drivmedel återstår därmed 108 GWh som antas användas för transporter med personbil. 14% av personbilsflottan (antalet fordonskilometer) kan drivas med hjälp av FT-diesel enligt tabell B.9.

Tabell B.9. Energiåtgång av FT-diesel för personbilstransporter

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Total tillgänglig energi                         | 108 GWh                    |
| Antal fordonskilometer för personbilstransporter | 1,87 <sup>9</sup>          |
| Energiinnehåll                                   | 9,17 kWh/l                 |
| Bränsleförbrukning                               | 0,04556 l/km               |
| Antal förbrukade liter                           | 13,6·10 <sup>6</sup> liter |
| Energi   | 108 GWh                    |
| Andel av det totala antalet fordonskm            | 14%                        |

## Bilaga C

# Energieffektivisering

I scenariot Biodrivmedel i samband med energieffektivisering kommer energieffektivisering göra att en större kvantitet bioenergi finns tillgänglig för drivmedelsproduktion. Ytterligare 654 GWh görs tillgängligt inom transportsektorn till följd av energieffektivisering (gäller dock inte transporter med färja eller flyg). Var energin har besparas visas i tabell C.1. I LEAP-modellen har effektiviseringsfaktorn (1-0,445) (44,5%) multiplicerats med det slutliga energibehovet av fjärrvärme år 2050.

| Sektor           | Typ         | Energianvändning | Effektivisering |
|------------------|-------------|------------------|-----------------|
| Småhus           | Existerande | 92 GWh           | 40,4 GWh        |
|                  | 2008-2012   | 7,3 GWh          | 3,2 GWh         |
|                  | 2012-2020   | 14 GWh           | 6,1 GWh         |
|                  | 2020-2050   | 32 GWh           | 13,9 GWh        |
| Flerbostadshus   | Existerande | 578 GWh          | 252,5 GWh       |
|                  | 2008-2012   | 16 GWh           | 6,8 GWh         |
|                  | 2012-2020   | 41 GWh           | 18,1 GWh        |
|                  | 2020-2050   | 155 GWh          | 67,7 GWh        |
| Privat sektor    | Existerande | 267 GWh          | 116,6 GWh       |
|                  | 2008-2012   | 3 GWh            | 1,2 GWh         |
|                  | 2012-2020   | 6 GWh            | 2,7 GWh         |
|                  | 2020-2050   | 13 GWh           | 5,7 GWh         |
| Offentlig sektor | Existerande | 143 GWh          | 62,3 GWh        |
|                  | 2008-2012   | 3 GWh            | 1,2 GWh         |
|                  | 2012-2020   | 6 GWh            | 2,7 GWh         |
|                  | 2020-2050   | 14 GWh           | 6,0 GWh         |
| Industri         | Existerande | 65 GWh           | 28,3 GWh        |
|                  | 2008-2012   | 7 GWh            | 2,9 GWh         |
|                  | 2012-2020   | 11 GWh           | 4,8 GWh         |
|                  | 2020-2050   | 25 GWh           | 10,9 GWh        |

## Bilaga D

# Beräkning och viktning av emissionsfaktorer

De emissionsfaktorer som har använts i simuleringen redovisas i tabell

Tabell D.1. Emissionsfaktorer för bibränslen vid förbränning (g/MJ bränsle)

| Bränsle                       | Fossil CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub>     | N <sub>2</sub> O     | CO <sub>2</sub> -ekv. |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Bensin, personbil             | 76,0                   | $4,9 \cdot 10^{-2}$ | $2,45 \cdot 10^{-3}$ | 77,8                  |
| Bensin, lastbil               | 76,0                   | $6,1 \cdot 10^{-2}$ | $4,4 \cdot 10^{-3}$  | 77,7                  |
| Diesel, personbil             | 75,9                   | $3,3 \cdot 10^{-2}$ | $3,0 \cdot 10^{-3}$  | 77,6                  |
| Diesel, lastbil               | 75,9                   | $3,3 \cdot 10^{-2}$ | $2,6 \cdot 10^{-3}$  | 77,4                  |
| FT-Diesel, personbil          | 30,4                   | $1,3 \cdot 10^{-2}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$  | 31,0                  |
| FT-Diesel, lastbil            | 30,4                   | $1,3 \cdot 10^{-2}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$  | 31,0                  |
| Biogas av org. hushållsavfall | -                      | -                   | -                    | 9,34                  |
| Biogas av org. ind. avfall    | -                      | -                   | -                    | 7,78                  |
| Biogas av gödsel              | -                      | -                   | -                    | 10,9                  |
| Biogas av slam                | 0,71                   | 0,10                | -                    | 2,89                  |
| Etanol av GROT                | 35,7                   | $2,3 \cdot 10^{-2}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$  | 36,6                  |
| Etanol av spannmål            | -                      | -                   | -                    | 32,0                  |
| Etanol av Salix               | -                      | -                   | -                    | 17,8                  |
| Etanol av rörflen             | -                      | -                   | -                    | 11,0                  |
| Etanol av hampa               | -                      | -                   | -                    | 11,0                  |
| Hushållsavfall                | 37,9                   | $2,8 \cdot 10^{-3}$ | $3,7 \cdot 10^{-4}$  | 38,0                  |
| Grovavfall                    | 26,4                   | $4,1 \cdot 10^{-3}$ | $2,7 \cdot 10^{-4}$  | 26,5                  |
| Torv                          | 114,8                  | $3,4 \cdot 10^{-2}$ | $8,2 \cdot 10^{-3}$  | 118,0                 |

## BILAGA D. BERÄKNING OCH VIKTNING AV EMISSIONSFAKTORER

För scenariot Ökad efterfrågan på el sammanfattas emissionsfaktorerna i tabell D.2.

**Tabell D.2.** Emissionsfaktorer för bibränslen vid förbränning (g/MJ bränsle)

| <b>Bränsle</b>                | <b>Fossil CO<sub>2</sub></b> | <b>CH<sub>4</sub></b> | <b>N<sub>2</sub>O</b> | <b>CO<sub>2</sub>-ekv.</b> |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Bensin, personbil             | 76,0                         | $4,9 \cdot 10^{-2}$   | $2,45 \cdot 10^{-3}$  | 77,8                       |
| Bensin, lastbil               | 76,0                         | $6,1 \cdot 10^{-2}$   | $4,4 \cdot 10^{-3}$   | 77,7                       |
| Diesel, personbil             | 75,9                         | $3,3 \cdot 10^{-2}$   | $3,0 \cdot 10^{-3}$   | 77,6                       |
| Diesel, lastbil               | 75,9                         | $3,3 \cdot 10^{-2}$   | $2,6 \cdot 10^{-3}$   | 77,4                       |
| FT-Diesel, personbil          | 30,4                         | $1,3 \cdot 10^{-2}$   | $1,2 \cdot 10^{-3}$   | 31,0                       |
| FT-Diesel, lastbil            | 30,4                         | $1,3 \cdot 10^{-2}$   | $1,1 \cdot 10^{-3}$   | 31,0                       |
| Biogas av org. hushållsavfall | -                            | -                     | -                     | 9,34                       |
| Biogas av org. ind. avfall    | -                            | -                     | -                     | 7,78                       |
| Biogas av gödsel              | -                            | -                     | -                     | 10,9                       |
| Biogas av slam                | 0,72                         | 0,10                  | -                     | 2,89                       |
| Biogas från vall              | -                            | -                     | -                     | 11,7                       |
| Etanol av GROT                | 35,7                         | $2,3 \cdot 10^{-2}$   | $1,2 \cdot 10^{-3}$   | 36,6                       |
| Etanol av vete                | -                            | -                     | -                     | 32,0                       |
| Etanol av Salix               | -                            | -                     | -                     | 17,8                       |
| Etanol av rörflen             | -                            | -                     | -                     | 11,0                       |
| Etanol av hampa               | -                            | -                     | -                     | 11,0                       |
| Hushållsavfall                | 37,9                         | $2,8 \cdot 10^{-3}$   | $3,7 \cdot 10^{-4}$   | 38,0                       |
| Grovavfall                    | 26,4                         | $4,1 \cdot 10^{-3}$   | $2,7 \cdot 10^{-4}$   | 26,5                       |
| Torv                          | 114,8                        | $3,4 \cdot 10^{-2}$   | $8,2 \cdot 10^{-3}$   | 118,0                      |

Eftersom några av bränslena använder flera olika substrat har emissionsfaktorerna viktats samt omräknats till kg/kWh genom att multiplicera varje faktor med 0,0036.

De emissionsfaktorer som är viktade är fasta bränslen från skog som består av både stubbar och GROT, etanol som produceras utifrån Salix, rörflen, spannmål och hampa samt avfall som består av både brännbart avfall från hushåll samt från industri. Hur dessa har viktats redovisas i tabell D.3.

BILAGA D. BERÄKNING OCH VIKTNING AV EMISSIONSFAKTORER

Tabell D.3. Emissionsfaktorer för bibränslen vid förbränning (g/MJ bränsle)

| Bränsle                    | Fossil CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub>      | N <sub>2</sub> O     | CO <sub>2</sub> -ekv. |
|----------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Skogsbränsle               |                        |                      |                      |                       |
| GROT                       | 1,9                    | 1,4·10 <sup>-4</sup> | 6,4·10 <sup>-5</sup> | 1,90                  |
| Stubbar                    | 2,6                    | 2,9·10 <sup>-4</sup> | 8,8·10 <sup>-5</sup> | 2,63                  |
| Viktat                     |                        |                      |                      | <b>2,3</b>            |
| Etanol E85                 |                        |                      |                      |                       |
| Scenario C                 |                        |                      |                      |                       |
| Etanol av spannmål         | -                      | -                    | -                    | 32,0                  |
| Etanol av hampa            | -                      | -                    | -                    | 11,0                  |
| Viktat                     |                        |                      |                      | <b>14,6</b>           |
| Scenario D                 |                        |                      |                      |                       |
| Etanol av vete             |                        |                      |                      | 32,0                  |
| Etanol av Salix            | -                      | -                    | -                    | 17,8                  |
| Etanol av rörflen          | -                      | -                    | -                    | 11,0                  |
| Etanol av hampa            | -                      | -                    | -                    | 11,0                  |
| Viktat                     |                        |                      |                      | <b>14,0</b>           |
| Biogas                     |                        |                      |                      |                       |
| Scenario C & D             |                        |                      |                      |                       |
| Biogas av gödsel           | -                      | -                    | -                    | 10,9                  |
| Biogas av halm             | -                      | -                    | -                    | 11,7                  |
| Biogas av organiskt avfall | -                      | -                    | -                    | 9,34                  |
| Biogas från slam           | -                      | -                    | -                    | 2,89                  |
| Viktat                     |                        |                      |                      | <b>11,1</b>           |
| Brännbart avfall           |                        |                      |                      |                       |
| Hushållsavfall             | 37,9                   | 2,8·10 <sup>-3</sup> | 3,7·10 <sup>-4</sup> | 38,0                  |
| Grovvavfall                | 26,4                   | 4,1·10 <sup>-3</sup> | 2,7·10 <sup>-4</sup> | 26,5                  |
| Viktat                     |                        |                      |                      | <b>32,2</b>           |

De emissionsfaktorer som använts i simuleringen, omräknade till kg CO<sub>2</sub> per kWh producerat bränsle redovisas i tabell D.4.

BILAGA D. BERÄKNING OCH VIKTNING AV EMISSIONSFAKTORER

**Tabell D.4.** Emissionsfaktorer för de bränslen som använts i simuleringen omräknat till kg CO<sub>2</sub> per producerad kWh

| <b>Bränsle</b>                    | <b>CO<sub>2</sub>-ekv (kg CO<sub>2</sub> per kWh)</b> |
|-----------------------------------|---|
| Skogsbränsle                      | 0,008154  |
| Salix                             | 0,035625  |
| Avfall                            | 0,116076  |
| Olja                              | 0,289599  |
| Kol                               | 0,384045  |
| Torv                              | 0,424787  |
| Rörflen                           | 0,076809  |
| Spannmål                          | 0,078120  |
| Halm i förbränning                | 0,083000  |
| Biogas som fordonsbränsle (A & B) | 0,034535  |
| Biogas som fordonsbränsle (C & D) | 0,040050  |
| Biogas från gödsel                | 0,040280  |
| Biogas från organiskt avfall      | 0,039484  |
| Biogas från slam                  | 0,010404  |
| Biogas från halm                  | 0,042120  |
| Etanol E85                        | 0,122887  |
| Diesel personbil                  | 0,279225  |
| Diesel liten lastbil              | 0,278789  |
| FT-diesel personbil               | 0,111690  |
| FT-diesel liten lastbil           | 0,111515  |
| Bensin personbil                  | 0,280197  |
| Bensin liten lastbil              | 0,283225  |
| Importerad el                     | 0,125500  |





SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energiogteknik](http://www.slu.se/energiogteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000